

ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ 2017



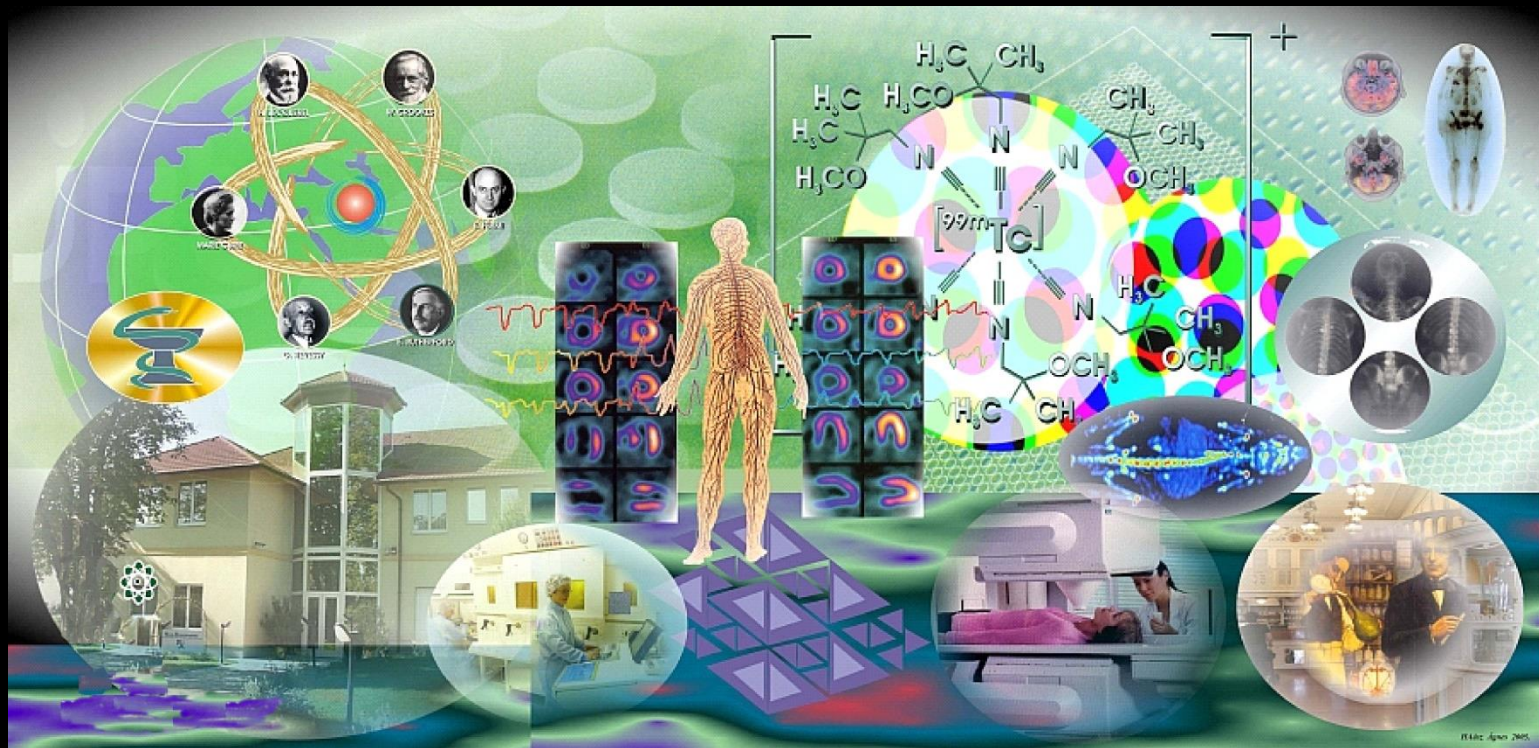
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ PET ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Παναγιώτης Αν. Γεωργούλιας

*Αν. Καθηγητής Πυρηνικής Ιατρικής
Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
Εργαστήριο Πυρηνικής Ιατρικής*

Λάρισα, 2017

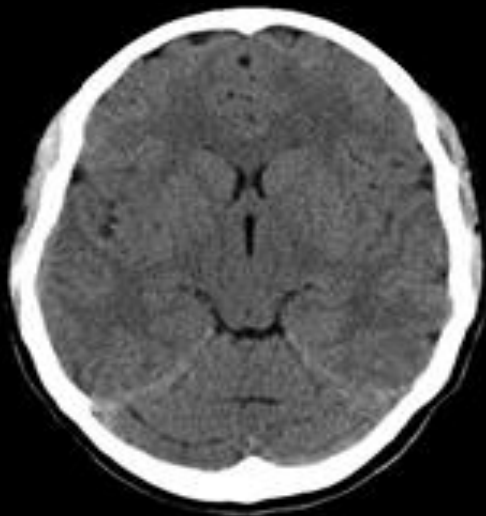
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ - ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ



Εργαστήριο Πυρηνικής Ιατρικής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

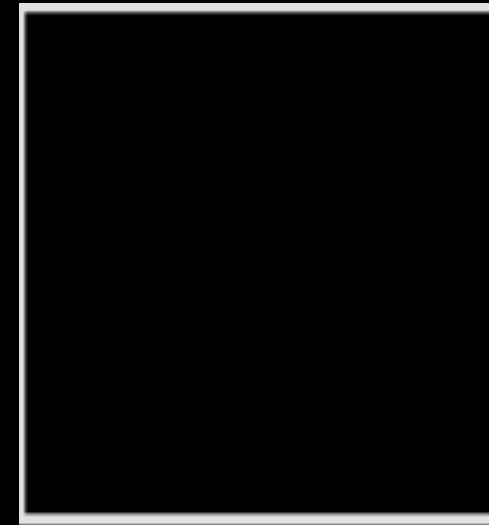
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ - ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ



CT-Φυσιολογικό



MRI-Φυσιολογικό

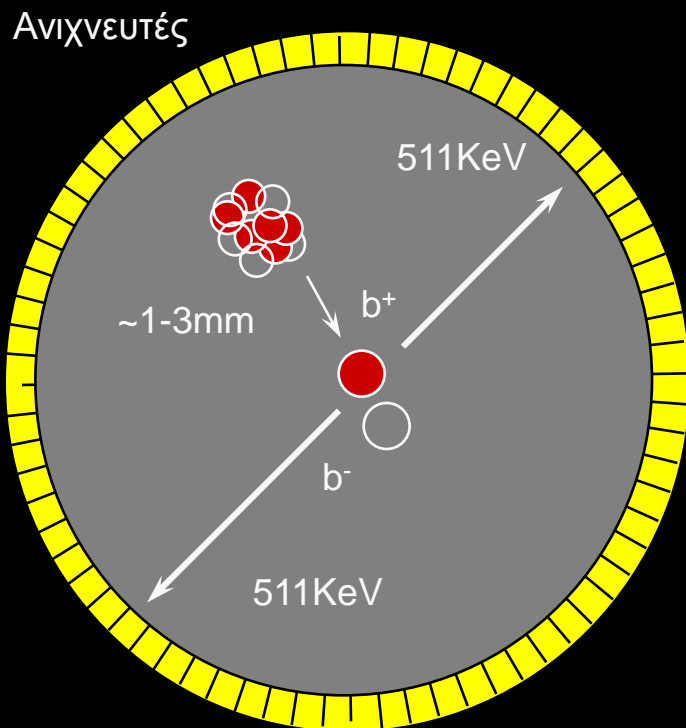


PET -???

>> Καμία Απεικόνιση

>> Εγκεφαλικός Θάνατος

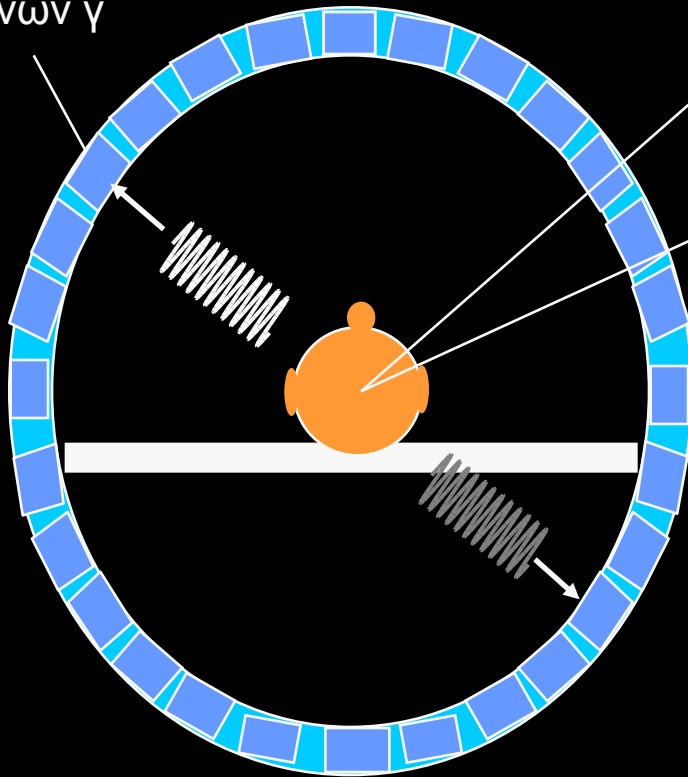
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΡΕΤ



- ✓ εκπομπή ποζιτρονίων κατά την μετάπτωση των πυρήνων
- ✓ το ποζιτρόνιο κινείται σε μικρή απόσταση και εξαϋλώνεται με ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο
- ✓ βάση του φαινομένου της εξαϋλωσης παράγονται δύο φωτόνια :
 - η ενέργεια του κάθε φωτονίου είναι 511keV
 - κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση
- ✓ ταυτόχρονη ανίχνευση των δύο φωτονίων 511keV

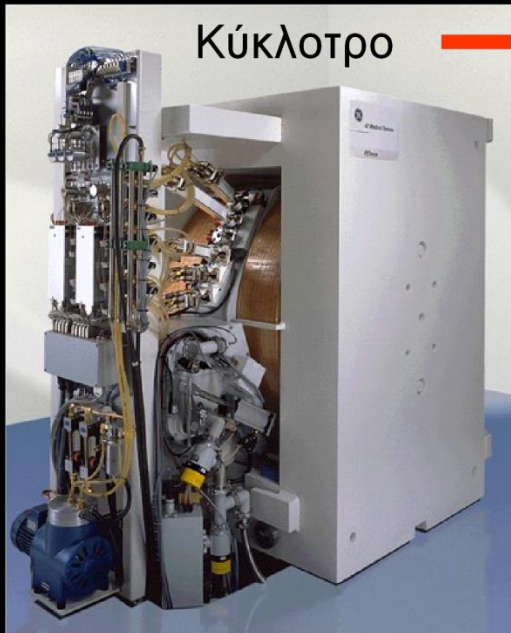
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ PET

ανιχνευτής
ακτίνων γ



- ✓ χιλιάδες ανιχνευτές (BGO, GSO, LSO, LYSO) συνδεδεμένοι σε "δακτύλιους"
- ✓ "νεκρός χρόνος" 4-10 nsec
- ✓ διακριτική ικανότητα 4-6 mm
- ✓ δσδιάστατη ("2D") ή τρισδιάστατη ("3D") απεικόνιση

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



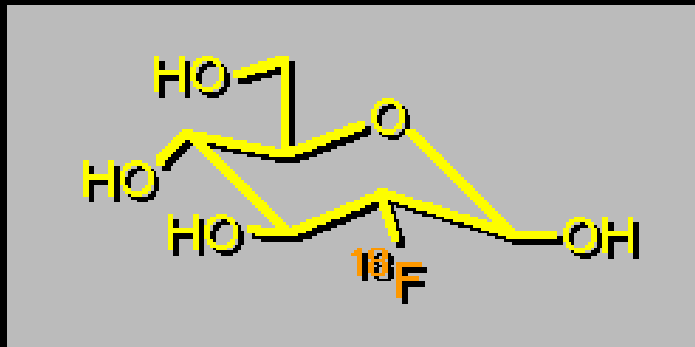
ΡΑΔΙΟΪΣΟΤΟΠΑ

Ραδιοϊσότοπο	Χρόνος Ημιζωής
^{11}C	20.4 min
^{13}N	10 min
^{15}O	2 min
^{68}Ga	68.3 min
^{18}F	110 min

ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ

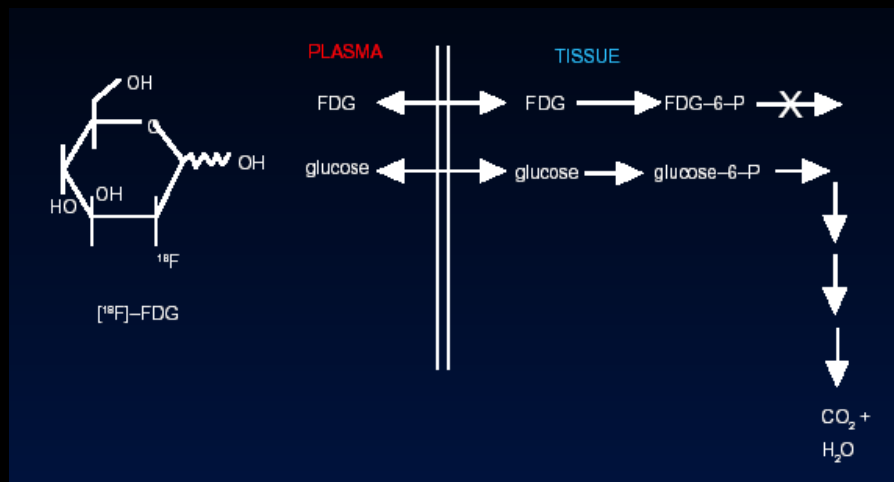
- **^{18}F -Fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG):** μεταβολισμός γλυκόζης
- **Επισημασμένα ανάλογα αμινοξέων** (^{11}C -tyrosine, ^{18}F -fluorotyrosine, ^{11}C -L-methionine, ^{18}F -fluoroalanine): πρόσληψη αμινοξέων - πρωτεϊνοσύνθεση
- **Επισημασμένα ανάλογα βάσεων του DNA** (^{18}F -fluorothymidine, ^{11}C -thymidine, ^{18}F -FBAU, ^{18}F -FMAU, ^{18}F -FAU): σύνθεση DNA – κυτταρικός πολλαπλασιασμός
- **^{11}C -choline, ^{18}F -FEC:** ενσωμάτωση στην κυτταρική μεμβράνη
- **^{15}O - H_2O :** εκτίμηση αιματικής ροής
- **^{18}F -fluoromisonidazole, ^{18}F -FAZA, ^{62}Cu -PTSM :** ιστική υποξία
- **^{18}F - β -estradiol:** απεικόνιση οιστρογονικών υποδοχέων
- **Επισημασμένα χημειοθεραπευτικά φάρμακα** (^{18}F -fluorouracil, ^{13}N -cisplatin, ^{18}F -tamoxifen): πρόβλεψη ανταπόκρισης στη χημειοθεραπεία
- **Ραδιοφάρμακα υποδοχέων** (^{68}Ga -DOTATOC, ^{68}Ga -DOTANOC) υποδοχείς σωματοστατίνης, (^{18}F -DOPA) ντοπαμινεργικοί υποδοχείς
- **Νεώτερα ραδιοφάρμακα:** (^{18}F -Galacto-RGD) αγγειογέννεση, ^{11}C -acetate σύνθεση λιπιδίων, (^{18}F -FHBG, ^{124}I -FIAU) γονιδιακή απεικόνιση, (^{124}I -annexin V) απόπτωση

^{18}F -fluoro-2-deoxyD-glucose



^{18}F -FDG

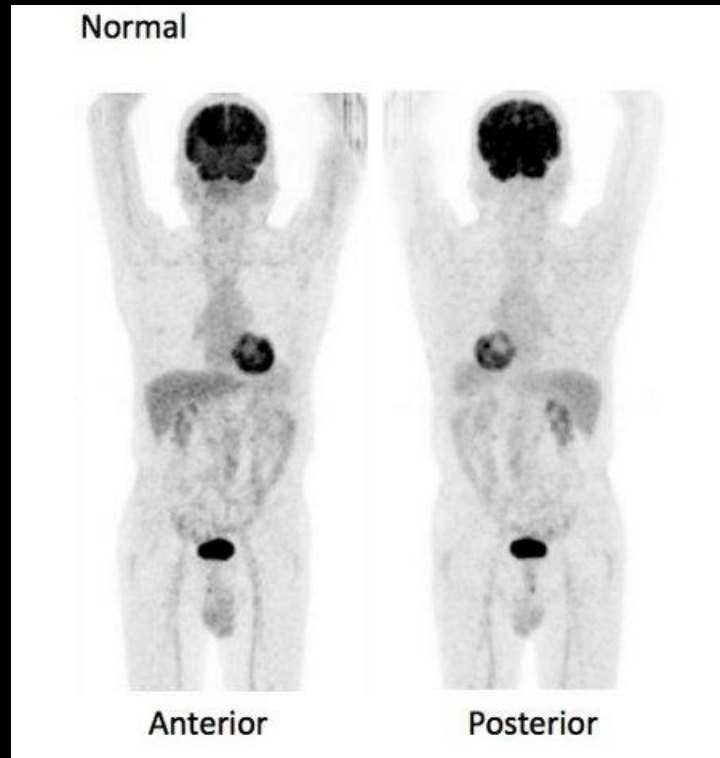
- ✓ **Επισημασμένο ανάλογο της γλυκόζης**, προσλαμβάνεται από τα κύτταρα, φωσφορυλιώνεται από την εξοκινάση, αλλά δεν μεταβολίζεται περαιτέρω.
- ✓ Τα καρκινικά κύτταρα παρουσιάζουν αυξημένο μεταβολισμό γλυκόζης (αυξημένος ρυθμός μεταφοράς και φωσφορυλίωσης της γλυκόζης, χαμηλός ρυθμός αποφωσφορυλίωσης)
- ✓ Υπάρχουν περιπτώσεις νεοπλασιών που εμφανίζουν χαμηλή συγκέντρωση γλυκόζης (βλενώδη αδενοκαρκινώματα, καρκινοειδείς όγκοι, νεφροκυτταρικό καρκίνωμα κτλ).



ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ^{18}F -FDG

- Η **FDG** συγκεντρώνεται φυσιολογικά σε πολλά όργανα του ανθρώπινου σώματος (ανάλογα με ό,τι ισχύει για τη γλυκόζη).
- **Έντονη συγκέντρωση** της FDG εμφανίζουν ο εγκέφαλος, το πυελοκαλυκτικό σύστημα και η ουροδόχος κύστη (το ραδιοφάρμακο απεκκρίνεται σε μεγάλο ποσοστό από το ουροποιητικό).
- **Μέτριας έντασης συγκέντρωση** παρατηρείται στο ήπαρ, στο μυελό των οστών, στην καρδιά (αν και η πρόσληψη στο μυοκάρδιο ποικίλλει), στα μεγάλα αγγεία, στο **θύμο αδένα** (σε νεαρά άτομα ηλικίας κάτω των 25 ετών), στις αμυγδαλές, στο θυρεοειδή αδένα, στους συζευκτικούς χόνδρους νεαρών ατόμων (πριν ολοκληρωθεί η ανάπτυξη), στις αρθρώσεις, στο **θερμογενετικό φαιό λίπος** και στους σιελογόνους αδένες.
- **Χαμηλής έντασης συγκέντρωση** επισημαίνεται στο θώρακα και στο μεσοθωράκιο, στη στοματοφαρυγγική κοιλότητα, στο έντερο, στο σπλήνα, στους μαστούς και ιδίως στις θηλές (η απεικόνιση των μαστών είναι εντονότερη στο τέλος του εμμηνορυσιακού κύκλου και σε θηλάζουσες γυναίκες) και στη μήτρα.
- **Η πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου από τους μύες** εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μυϊκή δραστηριότητα κατά το χρονικό διάστημα λίγο πριν και μετά τη χορήγηση, για αυτό συνιστάται απόλυτη ακινησία πριν και κυρίως μετά την έγχυση της FDG.

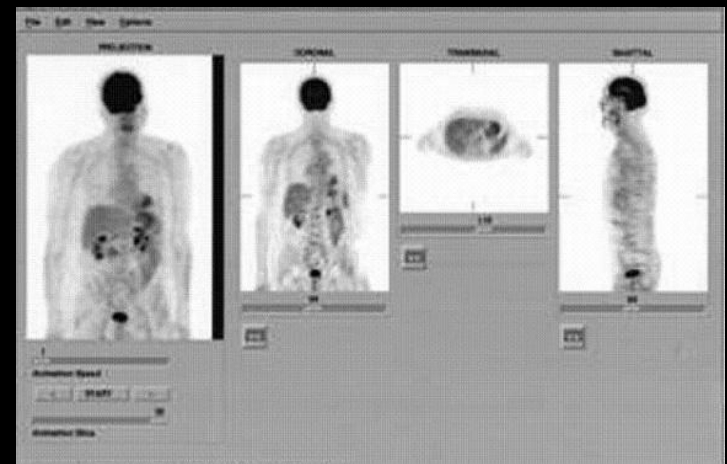
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΒΙΟΚΑΤΑΝΟΜΗ ^{18}F -FDG



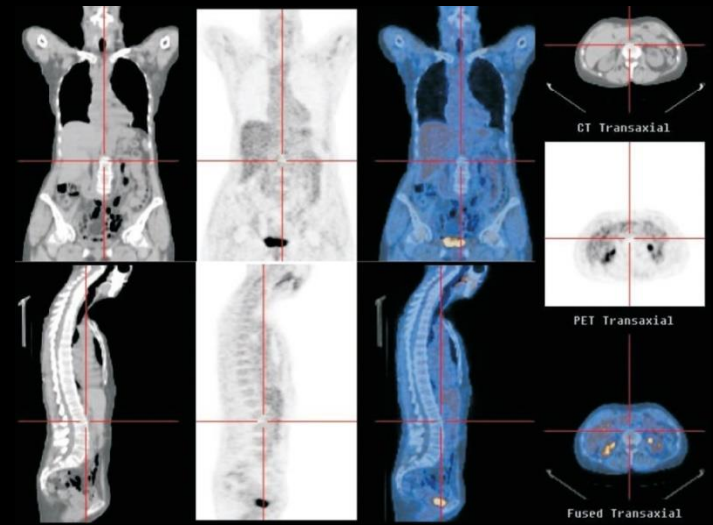
Source:

Colmener, Luis Felipe et al.
Conceptualizando. La imagen molecular vs. metabólica
con PET-FDG y los cambios imagenológicos de tipo
benigno. (Parte I).
Alasbimn 2010;12(49).
CC BY 3.0

**Σημαντική η συμβολή της PET-CT στη
δ.δ. φυσιολογικής από παθολογική
συγκέντρωση**

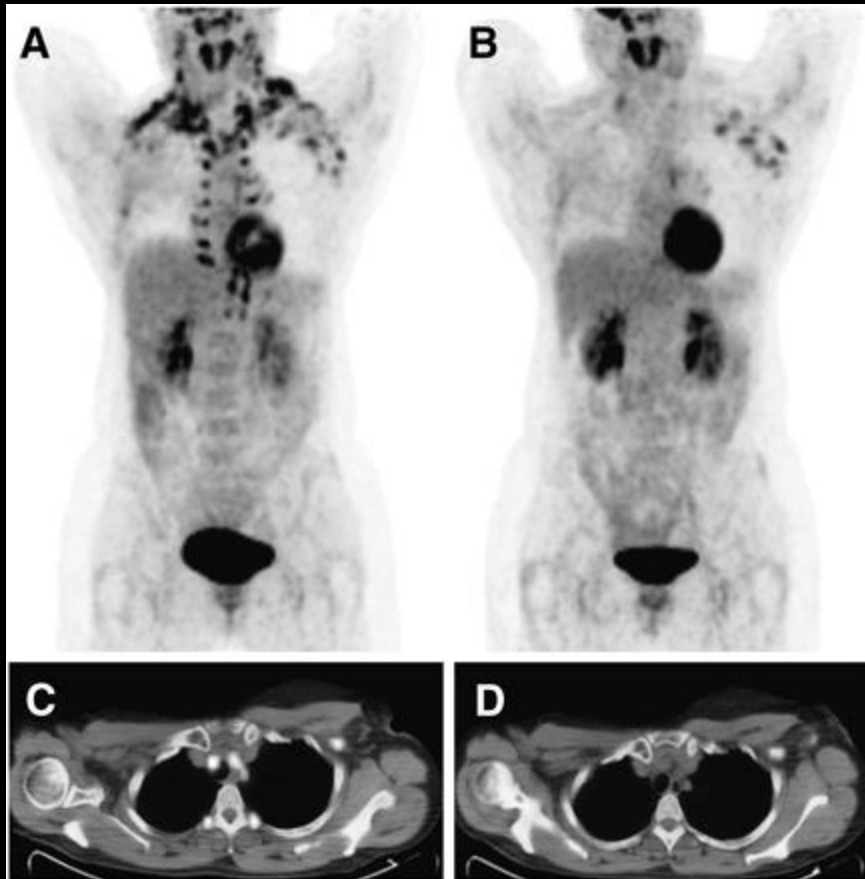


Φυσιολογική μελέτη PET (^{18}F -FDG)



Φυσιολογική μελέτη PET-CT (^{18}F -FDG)

BROWN FAT



(A) PET μελέτη
Χωρίς προετοιμασία

(B) PET μελέτη μετά από
1 w προετοιμασίας με διαζεπάμη και
κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας
δωματίου

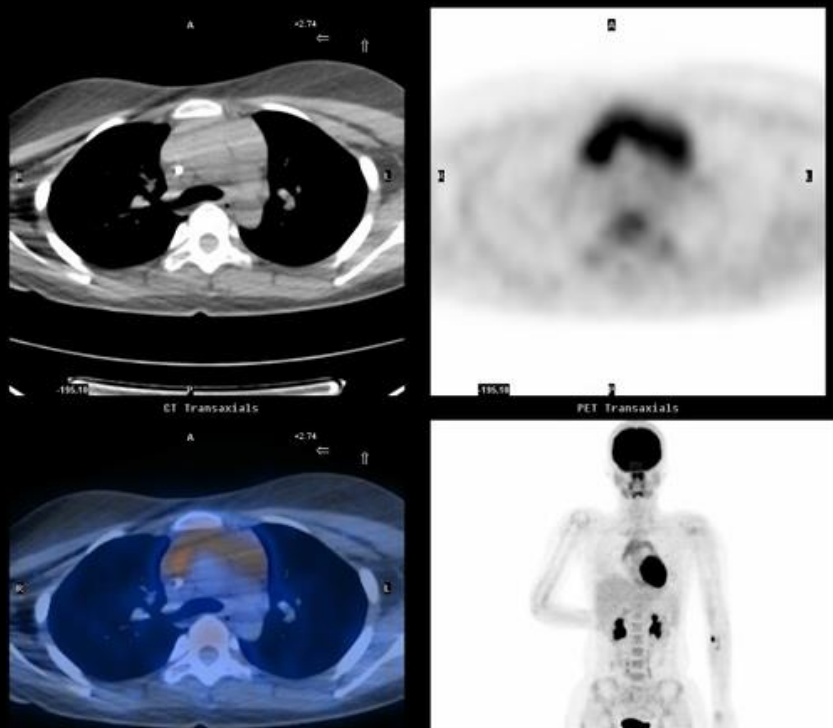
(C) PET/CT
Χωρίς προετοιμασία

(D) PET/CT
Λεμφαδενική μετάσταση στην
AP μασχαλιαία χώρα

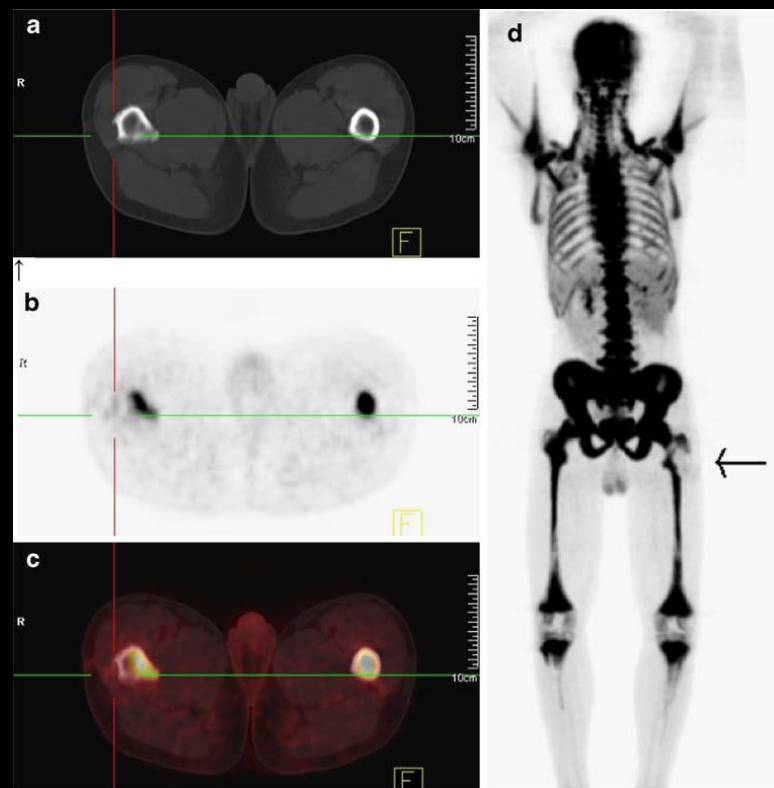
Source:

Aukema TS, et al.
Prevention of Brown Adipose Tissue Activation in 18F-FDG
PET/CT of Breast Cancer Patients Receiving Neoadjuvant
Systemic Therapy.
J Nucl Med Technol. 2010;38(1):24-27

"REBOUND" ΘΥΜΟΥ ΑΔΕΝΑ - ΑΙΜΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ

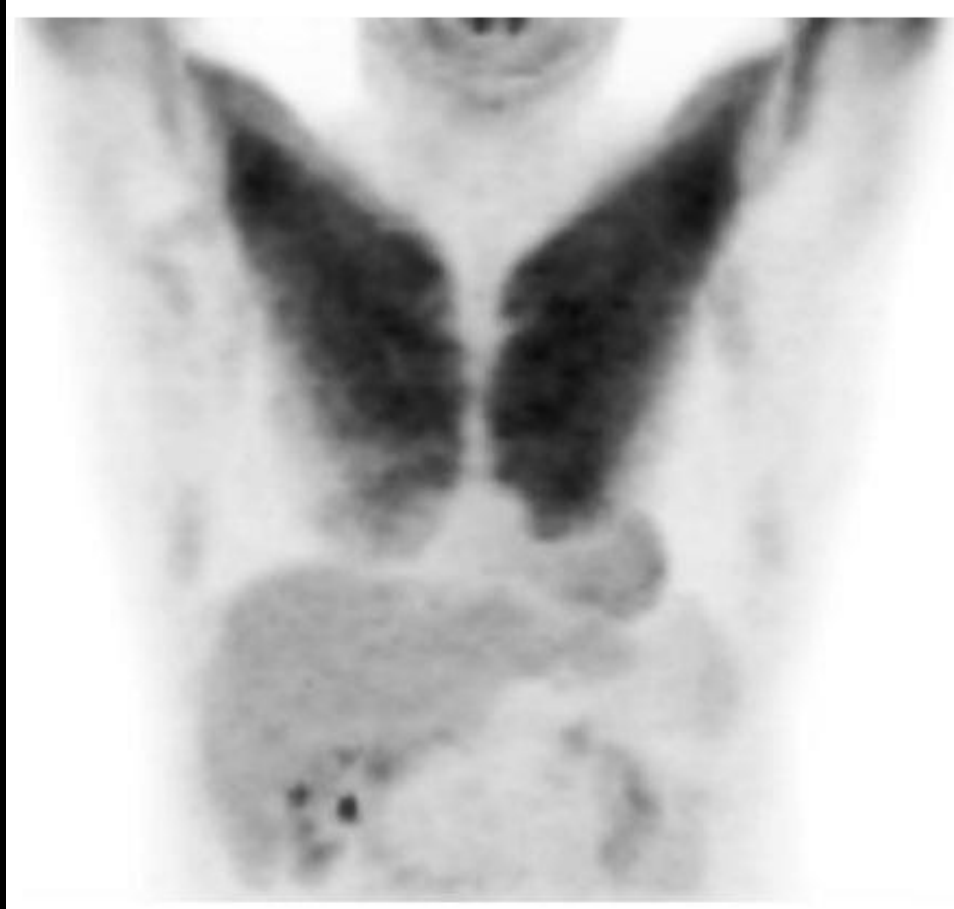


**Ασθενής 14 ετών
4 εβδομάδες μετά χημειοθεραπεία**



**Ewing's sarcoma: Διέγερση μυελού οστών
μετά χημειοθεραπεία**

ΜΥΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ



Source:

Fathinul F & Lau W.

Avid F-FDG uptake of pectoralis major muscle: an equivocal sequela of strenuous physical exercise.

Biomed Imaging Interv J (2009).

CC BY 2.5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ PET vs SPECT

Πλεονεκτήματα

- μεγάλη ευκολία επισήμανσης βιομορίων και ουσιών – παρακολούθησης μεταβολικών οδών
- σημαντικά καλύτερη στατιστική των μετρήσεων και μεγάλη δυνατότητα **ποσοτικών μετρήσεων (Standardized Uptake Value – SUV_{mean} / SUV_{max})**
- υψηλή διακριτική ικανότητα

Μειονεκτήματα

- απαραίτητη η ύπαρξη κυκλοτρονίου
- υψηλό κόστος παραγωγής ραδιοεπισημασμένων βιομορίων
- υψηλό κόστος προμήθειας και λειτουργίας
- εξειδίκευση

ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

➤ **SUV** (Standardized Uptake Value) =

Decay-corrected tissue activity
concentration (Bq/ml)


Injected activity (Bq) /
body weight (g) / (1g/ml)

➤ SUVmean, SUVmax (n.v. ≤ 1)

➤ Retention index (delayed SUV_{max} - early SUV_{max} / early SUV_{max})

➤ Κλινική αξία της SUV (Standardized Uptake Value ή Standardized Unuseful Value)

- οι υψηλές τιμές σχετίζονται με κακοήθεια (?) - δείκτης κακής πρόγνωσης
- χρήσιμος δείκτης follow-up, ανταπόκρισης στην αγωγή
- **σταθερές συνθήκες σπινθηρογράφησης** calibration του μηχανήματος



ROI Statistics

Region	Frame	Plane	Area (cm ²)	Max (SUV)	Mean (SUV)
R1	1	26	0.79518342	1.9245435	1.8327930
R2	1	28	0.53012228	10.056342	9.4230099
R3	1	29	0.26506114	8.9296789	8.9296789
R4	1	30	1.3253057	9.5619020	8.2482967
R5	1	31	1.3253057	7.8533788	6.6697025
R6	1	31	0.79518342	8.2825689	7.6340135
R7	1	34	1.0602446	8.1150103	7.7878919
R8	1	35	2.1204891	6.2469476	5.3400068
R9	1	37	1.3253057	6.7504902	6.2311373
R10	1	38	1.0602446	4.8211780	4.6761880
R11	1	62	1.3253057	4.5943880	3.5832109
R12	1	63	1.5903668	6.7970343	4.9662471
R13	1	64	0.53012228	4.5715828	4.2567377
R14	1	82	0.53012228	1.8562623	1.8041803
R15	1	83	0.53012228	3.6321166	3.3777702
R16	1	84	2.1204891	4.2415342	3.0888588
R17	1	85	1.0602446	3.2422032	2.8661926

SUVmax:
10.056

SUVmean:
7.423

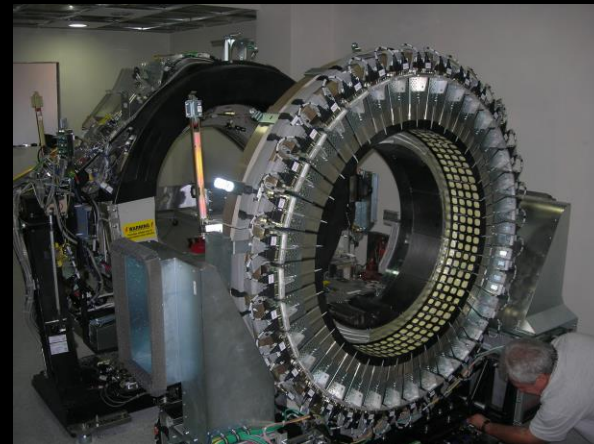
PET-CT

ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ

- ✓ μεγάλη χρονική διάρκεια για την απόκτηση των σπινθηρογραφικών δεδομένων (transmission scan)
- ✓ έλλειψη ανατομικής λεπτομέρειας και ανατομικού προσδιορισμού
- ✓ δ.δ. κακοήθους από καλοήγη ή φυσιολογική συγκέντρωση του ρ/φ

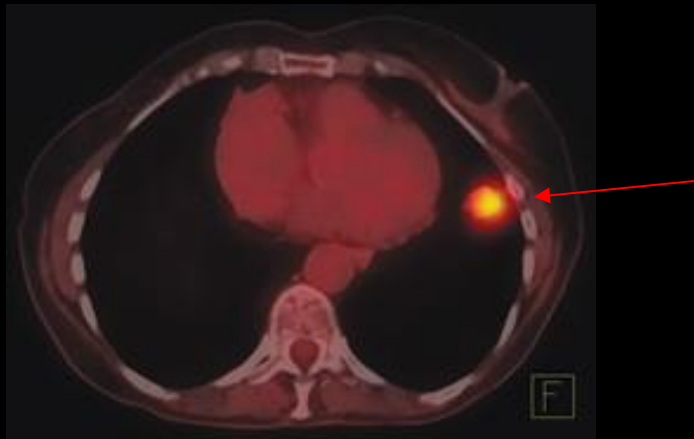


- ✓ Λειτουργική πληροφορία → PET
- ✓ Ανατομική πληροφορία → CT
 - ✓ CT-based attenuation correction
- ✓ Σύγχρονη απεικόνιση → FUSION



ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ

ΚΛΙΝΙΚΕΣ - ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



- Ογκολογία
- Νευρολογία
- Καρδιολογία
- Ψυχιατρική
- Γονιδιακή απεικόνιση
- Νέα ραδιοφάρμακα
- Φαρμακοκινητική

Υπολογίζεται ότι το **80 - 90%** των εξετάσεων PET-CT αφορά ογκολογικούς ασθενείς (*sens., spec. >90%*)

(Poeppel. et al, EJIR, 2009)

ΤΕΧΝΙΚΗ

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

- έλεγχος μηχανήματος, Blank scan-air calibration
- λεπτομερής ενημέρωση του εξεταζόμενου
- **ιστορικό** (σακχαρώδης διαβήτης? άλλες παθήσεις – θεραπείες? εγκυμοσύνη? Θηλασμός?), **κλινικοεργαστηριακά δεδομένα** – προηγούμενες εξετάσεις, ψυχοκινητική εκτίμηση, σωματομετρικά δεδομένα
- εκτέλεση της εξέτασης **3-4 εβδομάδες μετά από χημειοθεραπεία και 2-6 μήνες μετά από ακτινοθεραπεία** (εφόσον είναι κλινικά εφικτό)
- πρόσφατες τιμές κρεατινίνης, TSH (διαγνωστική CT?)
- ο ασθενής είναι νηστικός από το προηγούμενο βράδυ (6 – 12 ώρες)
- τιμή σακχάρου αίματος **<150** - 200mg/dl (ρύθμιση τουλάχιστον 2 ώρες πριν τη χορήγηση)
- **καλή ενυδάτωση** του εξεταζόμενου (1.5lt υγρών την προηγούμενη μέρα και πάνω από 1lt την ημέρα της εξέτασης)
- αποφυγή καπνίσματος, σωματικής άσκησης
- iv χορήγηση (ήσυχο περιβάλλον) ^{18}F FDG : δόση **200 - 400 MBq** (4 - 6 MBq/kg)
- χορήγηση φουροσεμίδης (παιδιά – ενδοπυελικές μάζες)
- ενδοφλέβια χορήγηση σε απόλυτη ακινησία - ηρεμία του εξεταζόμενου πριν και μετά τη χορήγηση

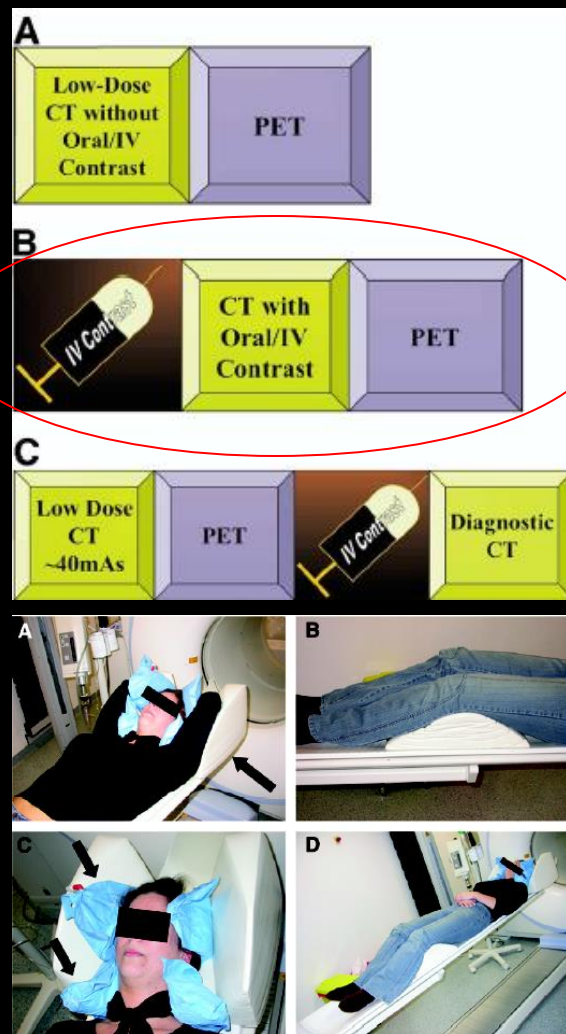
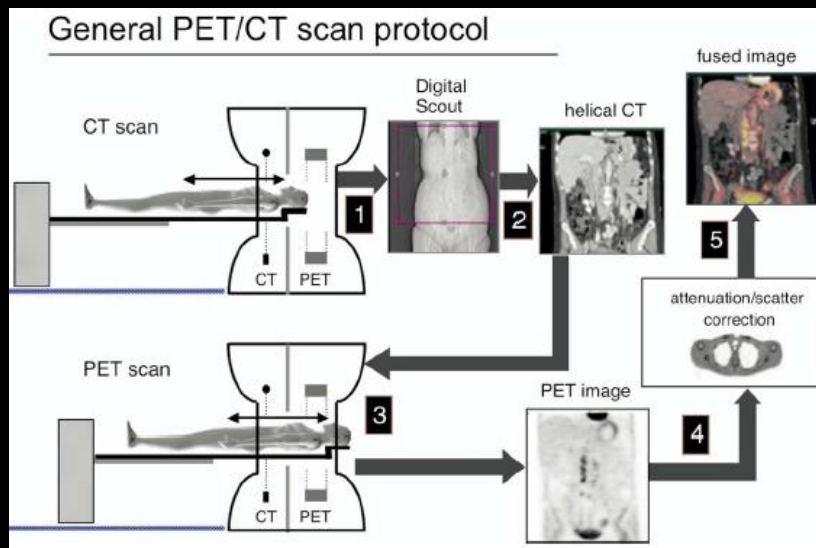
ΤΕΧΝΙΚΗ

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

- απεικόνιση **60** – 90min μετά τη χορήγηση
- ούρηση πριν την έναρξη της σπινθηρογράφησης – καθητηριασμός της ουροδόχου κύστης (αδυναμία κένωσης, ακράτεια, ύποπτη ενδοπυελική μάζα)
- **τοπογράφημα, CT** (< 25 sec, <15sec για θώρακα-κοιλιά), **PET** (από πύελο προς κεφάλι, 10-30 min)
- **χορήγηση υλικού αντίθεσης** (per os, iv - pump)
- αναπαυτική τοποθέτηση του εξεταζόμενου (αφαίρεση μεταλλικών αντικειμένων)– **αποφυγή κίνησης**
- **ήρεμη αναπνοή** σε όλη τη διάρκεια της εξέτασης, στην CT κράτημα της αναπνοής σε θέση ήρεμης εκπνοής (?) από το μέσο του θώρακα ως το μέσο της κοιλιακής χώρας – respiratory gating
- απεικόνιση σε ύπτια θέση, **από κροταφική χώρα έως άνω τμήμα μηριαίων (?)** (6-8 bed positions, **πρόσθετες λήψεις**) χέρια πάνω από το κεφάλι (CT) εκτός από ενδεδλεχτή head-neck απεικόνιση (επιπλέον λήψη)
- **επεξεργασία των δεδομένων** – CT-based attenuation correction (**40% εξοικονόμηση χρόνου**), fusion, SUV
- **ερμηνεία ευρημάτων** (CT, PET, uncorrected-corrected images, fusion images)

ΤΕΧΝΙΚΗ

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ



ΑΚΤΙΝΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ

- Ακτινική επιβάρυνση PET: 5-7mSv
- Ακτινική επιβάρυνση ολόσωμης διαγνωστικής CT: 10-15mSv
- Ακτινική επιβάρυνση low-dose CT: <5mSv
- **Συνολική ακτινική επιβάρυνση: 17 – 25mSv**
- **Τεχνολόγοι: 5 - 6mSv/y (8 εξετάσεις/d)**

Organ	Absorbed dose per unit activity administered (mGy/MBq)		
	Adult	15 years	5 years
Adrenals	0.012	0.015	0.038
Bladder	0.16	0.21	0.32
Bone surfaces	0.011	0.014	0.035
Brain	0.028	0.028	0.034
Breast	0.0086	0.011	0.029
Gall bladder	0.012	0.015	0.035
Stomach	0.011	0.014	0.036
Small Intestine	0.013	0.017	0.041
Colon	0.013	0.017	0.040
Heart	0.062	0.081	0.020
Kidneys	0.021	0.025	0.054
Liver	0.011	0.014	0.037
Lungs	0.010	0.014	0.034
Muscles	0.011	0.014	0.034
Oesophagus	0.011	0.015	0.035
Ovaries	0.015	0.020	0.044
Pancreas	0.012	0.016	0.040
Red marrow	0.011	0.014	0.032
Skin	0.0083	0.010	0.027
Spleen	0.011	0.014	0.036
Testes	0.012	0.016	0.038
Thymus	0.011	0.015	0.035
Thyroid	0.010	0.013	0.035
Uterus	0.021	0.026	0.055
Remaining organs	0.011	0.014	0.034
Effective dose (mSv/MBq)	0.019	0.025	0.050

DEBATE

➤ **PET-CT ή PET + CT**

➤ **Υπέρ:**

- ✓ ανατομική και λειτουργική απεικόνιση σε μία συνεδρία (ανατομικός προσδιορισμός ευρημάτων, διαγνωστική ακρίβεια, logistical benefit)
- ✓ ενιαία τοποθέτηση του εξεταζόμενου
- ✓ βέλτιστη ταύτιση των εικόνων – περιορισμένη κίνηση εσωτερικών οργάνων
- ✓ άμεσα διαθέσιμα αποτελέσματα
- ✓ περιορισμός της διάρκειας της εξέτασης έως **40%** (CT-based attenuation correction)
- ✓ δεν απαιτείται η εκτέλεση διαγνωστικής CT εάν δεν είναι απαραίτητη (πρόσφατος έλεγχος) ή αντενδύκνεται

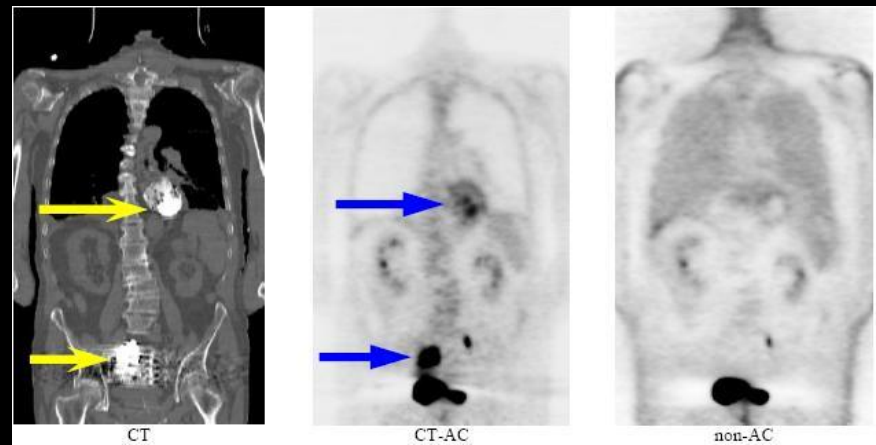
➤ **Κατά:**

- ✓ κόστος (?) οικονομία σε βάθος χρόνου- δεν απαιτείται η αγορά ραδιενεργών πηγών για attenuation correction
- ✓ **artifacts** (σχετιζόμενα με το υλικό αντίθεσης, την αναπνοή, κτλ): **μικρή επίπτωση στην κλινική πρακτική**

Η PET-CT απεικόνιση βελτιώνει κατά 10-15% τη διαγνωστική αξία του συνδυασμού PET+CT (Czernin J. et al, JNM, 2007)

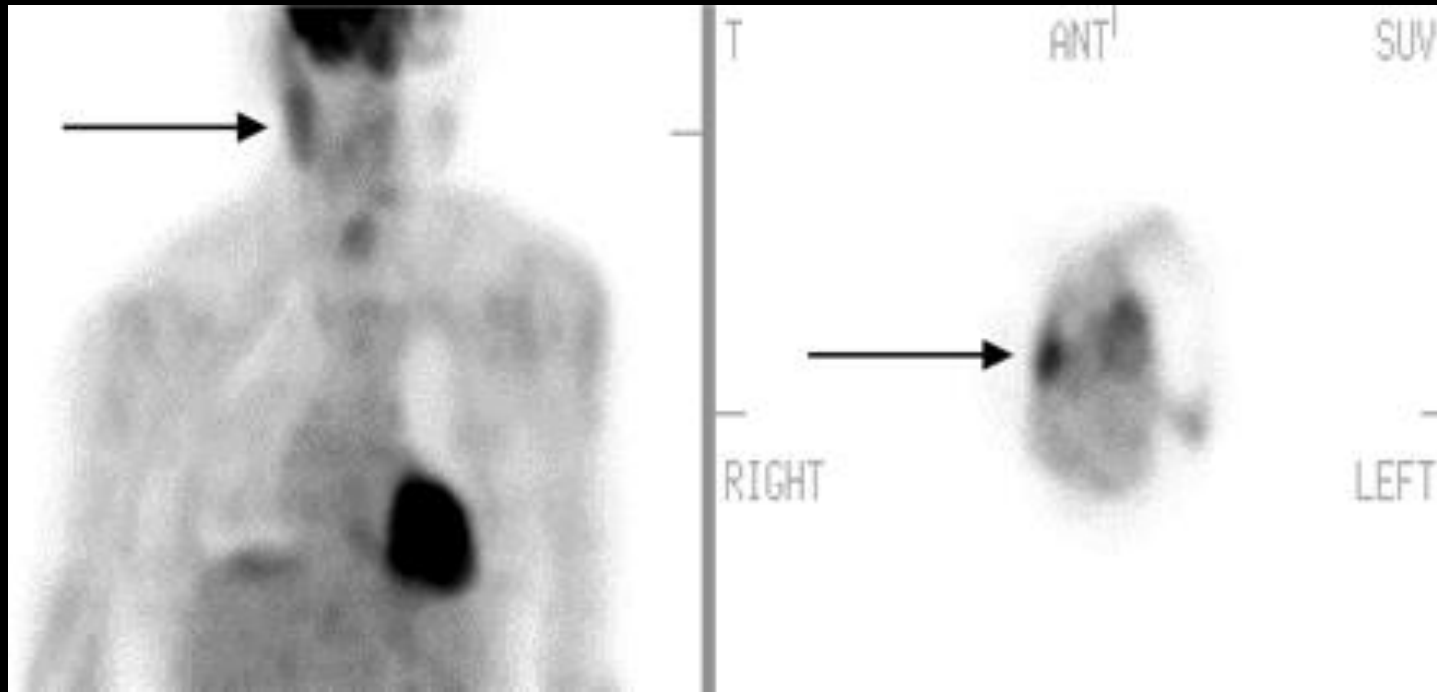
ARTIFACTS

- σχετιζόμενα με τον εξεταζόμενο (κίνηση του ασθενή ή οργάνων του, «ραδιομόλυνση»)
- σχετιζόμενα με τον χειριστή (χορήγηση του ρ/φ - χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την έναρξη της μελέτης, χορήγηση του υλικού αντίθεσης, τοποθέτηση του εξεταζόμενου)
- σχετιζόμενα με την επεξεργασία των δεδομένων (attenuation correction, ανακατασκευή της εικόνας, fusion)
- σχετιζόμενα με την κατασκευή (PET – CT FOV mismatch) και την λειτουργική κατάσταση του μηχανήματος



Contrast agent artifact

PITFALLS & ARTIFACTS

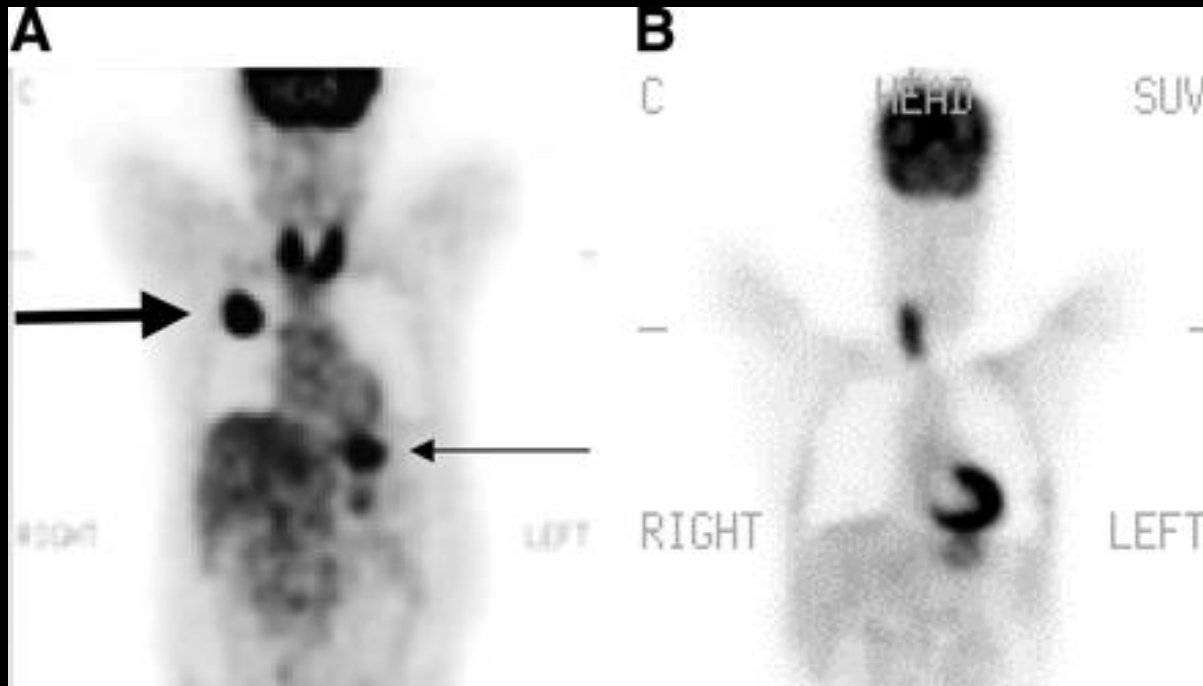


Αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου ΔΕ
Μετακίνηση κεφαλής κατά την εξέταση

Source:

Abouziad MM, et al.
18F-FDG Imaging: Pitfalls and Artifacts.
J Nucl Med Technol 2005; 33(3):145-155.

PITFALLS & ARTIFACTS



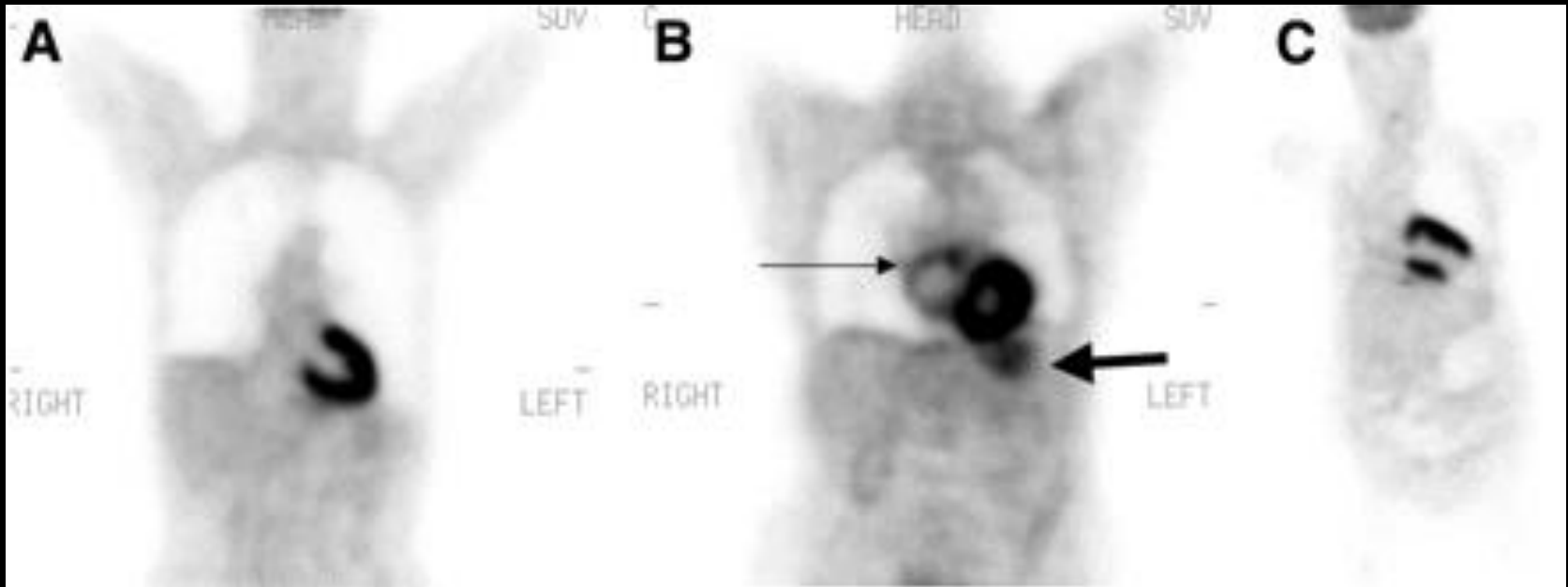
(A) Αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στον θυρεοειδή αδένα (θυρεοειδίτιδα Hashimoto) σε ασθενή με καρκίνωμα άνω λοβού ΔΕ πνεύμονα. Φυσιολογική πρόσληψη στην περιοχή του στομάχου

(B) Αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου (θυρεοειδίτιδα Hashimoto) σε ασθενή που είχε υποβληθεί σε AP θυρεοειδεκτομή. Ιστορικό καρκίνου μαστού.

Source:

Abouzied MM, et al.
18F-FDG Imaging: Pitfalls and Artifacts.
J Nucl Med Technol 2005; 33(3):145-155.

PITFALLS & ARTIFACTS



Αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στην περιοχή του διατεταμένου ΔΕ κόλπου.
ΔΔ από παθολογικό λεμφαδένα μεσοθωρακίου

Source:

Abouzi MM, et al.
18F-FDG Imaging: Pitfalls and Artifacts.
J Nucl Med Technol 2005; 33(3):145-155.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΕ ΚΑΛΟΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ

- **φλεγμονές** (κοκκιωματώδεις νόσοι, αρθρίτιδα, οστεομυελίτιδα, εκκολπωματίτιδα, αγγειίτιδα, θυρεοειδίτιδα, πνευμονίτιδα, συχνά μετά από ακτινοθεραπεία κτλ) – πρόσληψη στα ενεργοποιημένα φλεγμονώδη κύτταρα
- πρόσφατα κατάγματα/κακώσεις
- μετεγχειρητικές ουλές
- καλοήθεις όγκοι

Η PET-CT ενδείκνυται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις διάγνωσης και follow-up

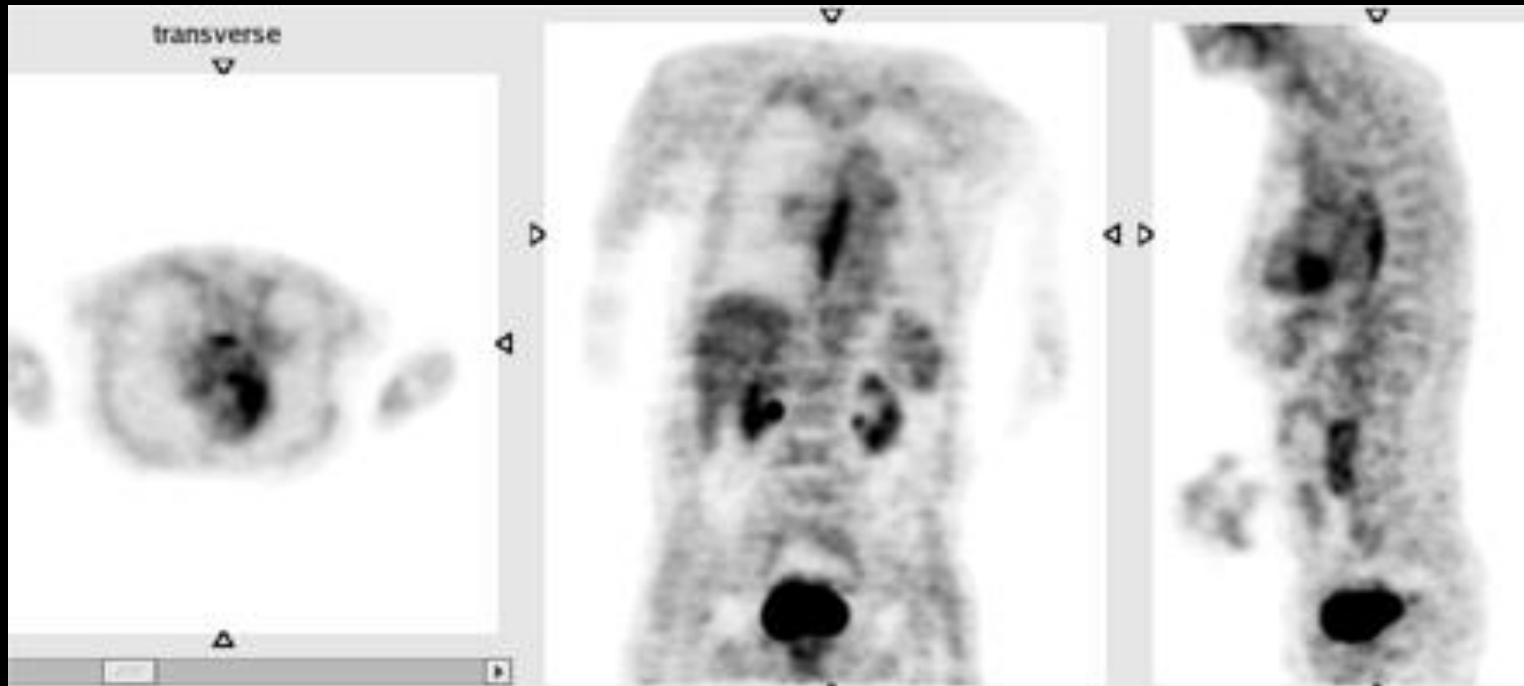
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΕ ΚΑΛΟΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ



Διάσπαρτη-γενικευμένη φυματίωση

Source:
Abouzied MM, et al.
18F-FDG Imaging: Pitfalls and Artifacts.
J Nucl Med Technol 2005; 33(3):145-155

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΕ ΚΑΛΟΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ



**Αυξημένη πρόσληψη στην αορτή – φλεγμονή
(σχηματισμός ασταθούς πλάκας)**

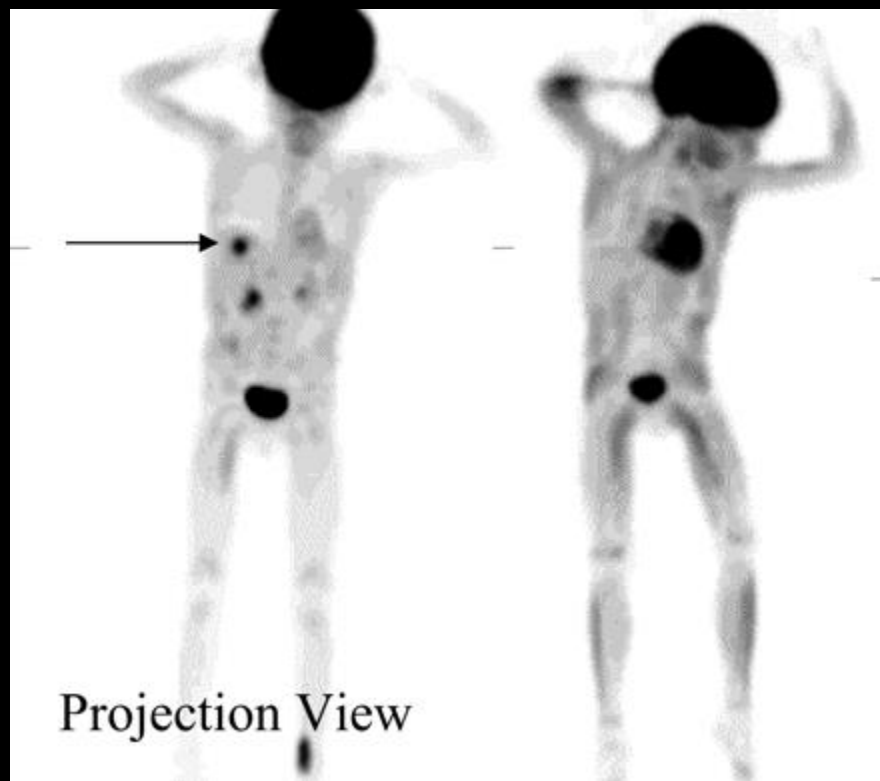
Source:

Abouziad MM, et al.

18F-FDG Imaging: Pitfalls and Artifacts.

J Nucl Med Technol 2005; 33(3):145-155

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΕ ΚΑΛΟΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ



**Αυξημένη πρόσληψη του
ραδιοφαρμάκου εξαιτίας
μυκητιασικής λοίμωξης του
ήπατος σε παιδιατρικό ασθενή**

Πριν και μετά τη θεραπεία

Source:
Abouziad MM, et al.
18F-FDG Imaging: Pitfalls and Artifacts.
J Nucl Med Technol 2005; 33(3):145-155

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΟΓΚΟΛΟΓΙΑ

Oncologic uses of FDG-PET scans approved for reimbursement under Medicare as of July 3, 2009.

Indication	Initial treatment strategy ⁽¹⁾	Subsequent treatment strategy ⁽²⁾
Brain	Cover	NOPR
Breast (female and male)	(3)	Cover
Cervix	(4) or NOPR	Cover
Colorectal	Cover	Cover
Esophagus	Cover	Cover
Head and neck (not thyroid or CNS)	Cover	Cover
Lung, non-small cell	Cover	Cover
Lung, small cell	Cover	NOPR
Lymphoma	Cover	Cover
Melanoma	(5)	Cover
Myeloma	Cover	Cover
Ovary	Cover	Cover
Pancreas	Cover	NOPR
Prostate	N/C	NOPR
Soft tissue sarcoma	Cover	NOPR
Testes	Cover	NOPR
Thyroid	Cover	(6) or NOPR
Solid tumors, all other	Cover	NOPR
All other cancers not listed	NOPR	NOPR

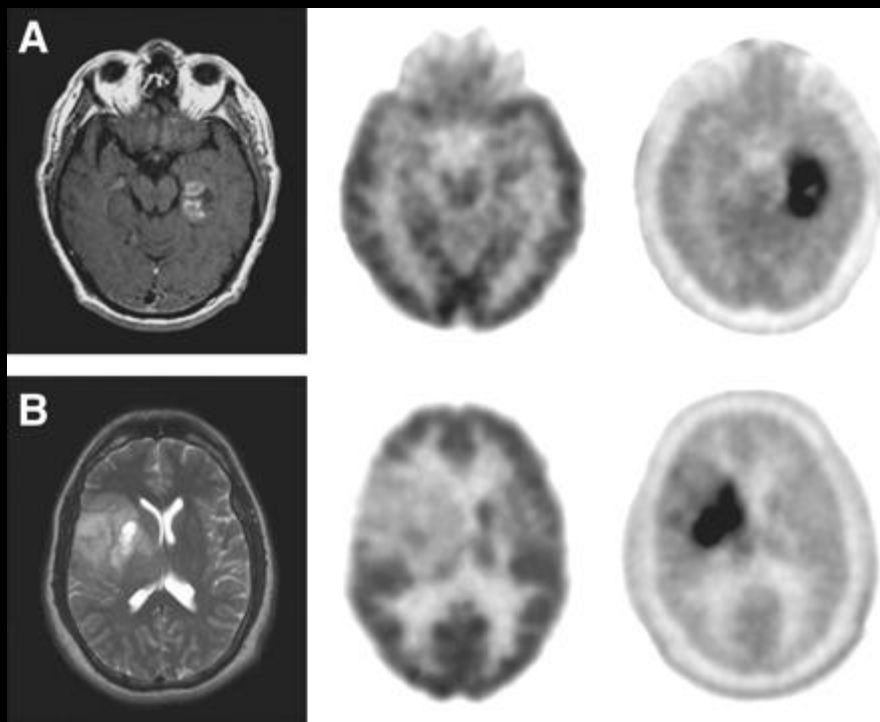
Is whole-body FDG-PET valuable for health screening?

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΟΓΚΟΛΟΓΙΑ

- πρόωμη διάγνωση - δ.δ. καλοήθους από κακοήθη βλάβη
- σταδιοποίηση - επανασταδιοποίηση
- εκτίμηση του βαθμού κακοήθειας
- εκτίμηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία
- διάγνωση υποτροπής - ανίχνευση υπολειπόμενης νόσου
- δ.δ. βιώσιμου από νεκρωμένο όγκο (ουλώδη ιστό)
- επιλογή της βλάβης - θέσης για βιοψία
- σχεδιασμός του πεδίου ακτινοβολήσης
- ανίχνευση νεοπλασματικών εστιών σε ασθενείς με αύξηση της τιμής των καρκινικών δεικτών - ανίχνευση όγκων αγνώστου πρωτοπαθούς εστίας

Τελικά η PET-CT επιφέρει αλλαγή της θεραπευτικής αγωγής στο 30 - 40% των ογκολογικών ασθενών (Czernin J. et al., JNM, 2007).

ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ



(A) Γλοιοβλάστωμα
(B) Ολιγοδενδρογλοίωμα grade II

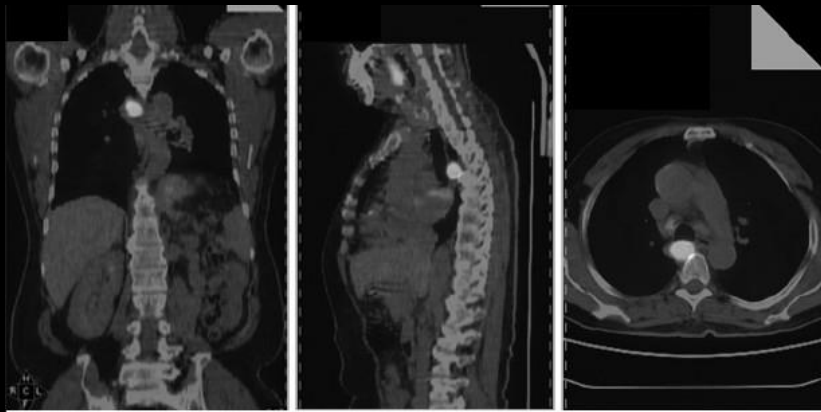
ΑΡ: Μαγνητική τομογραφία
Μέση: 18F-FDG PET
ΔΕ: 18F-FDOPA PET

Source:

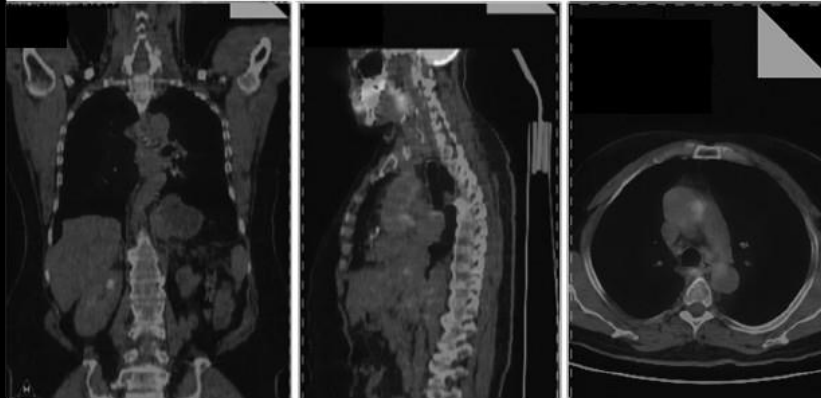
Chen W, et al.

18F-FDOPA PET Imaging of Brain Tumors: Comparison Study with 18F-FDG PET and Evaluation of Diagnostic Accuracy
J Nucl Med 2006;47(6):904-911.

ΔΙΑΓΝΩΣΗ – ΔΔ από καλοήθη βλάβη



Pre Antitubercular Rx

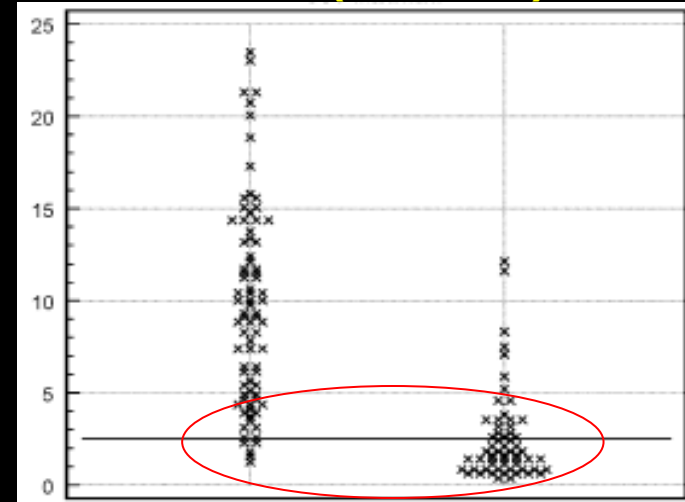


Post Antitubercular Rx

Φυματίωση

Source:
Basu S, et al.
Indian Journal of Cancer 2010;47(4): 371-379
CC BY-NC-SA 3.0

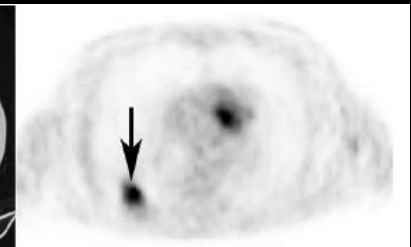
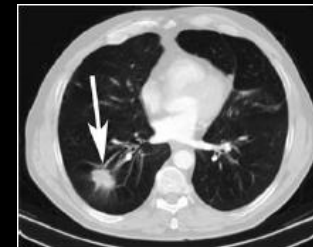
SUVmax (cut off 2.5)



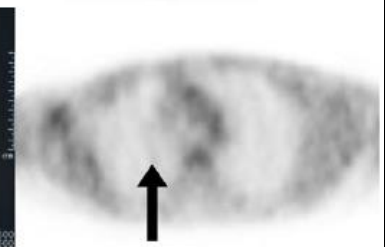
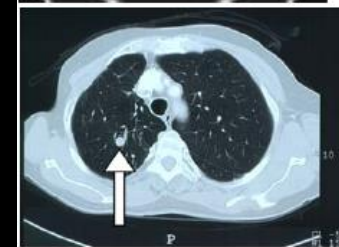
malignant

benign

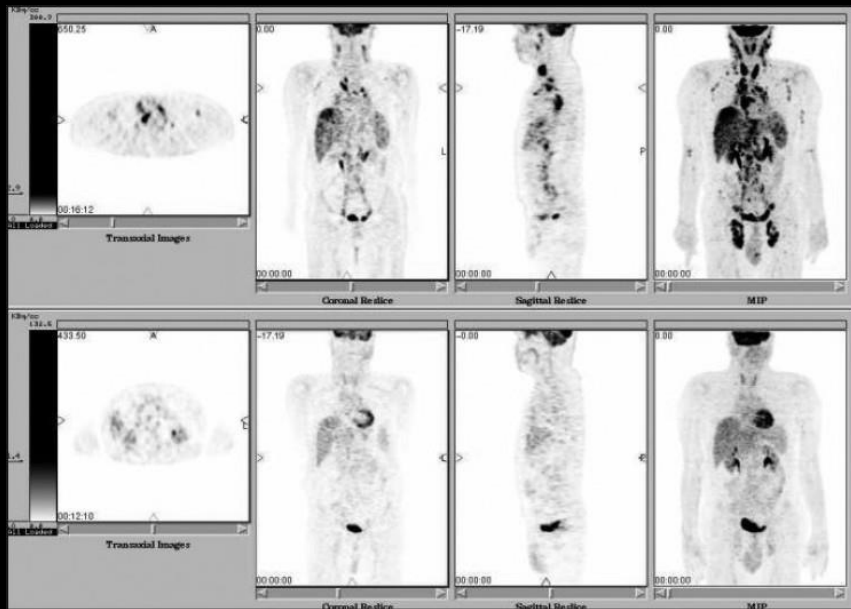
malignant



benign

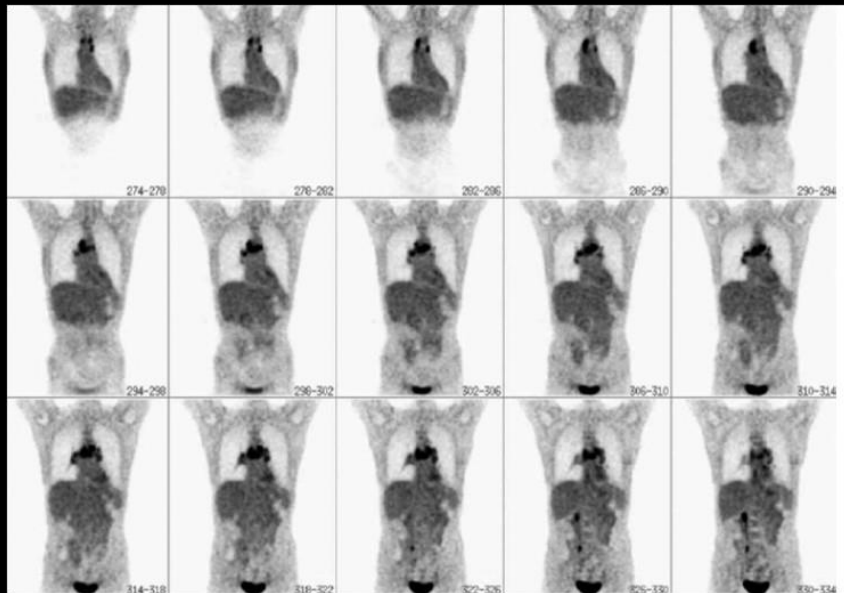


Σαρκοειδωση



Σαρκοειδωση

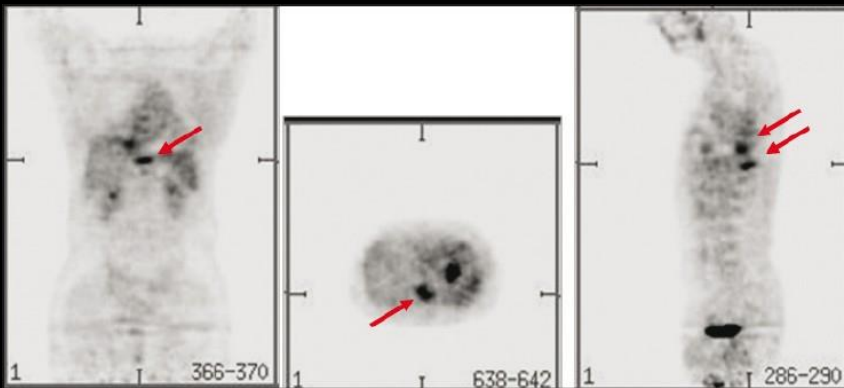
Προεγχειρητικός έλεγχος ασθενούς με καρκίνο μαστού



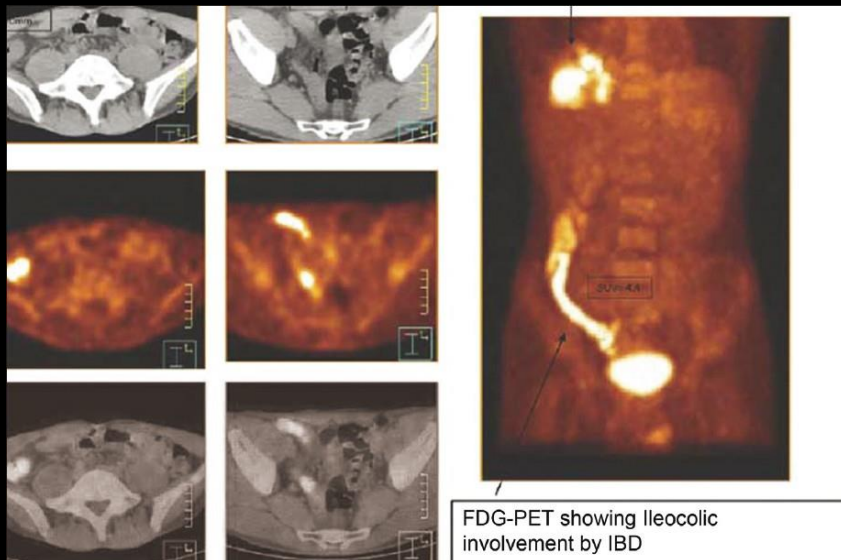
Source:

Basu S, et al.
Indian Journal of Cancer 2010;47(4): 371-379
CC BY-NC-SA 3.0

Οστεομυελίτιδα Θ9-Θ11



Ιδιοπαθής φλεγμονώδης νόσος του εντέρου



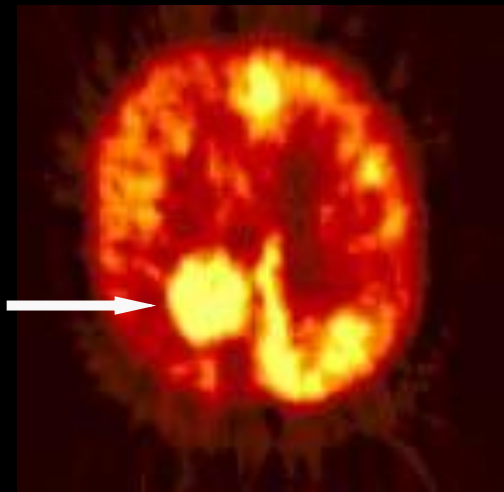
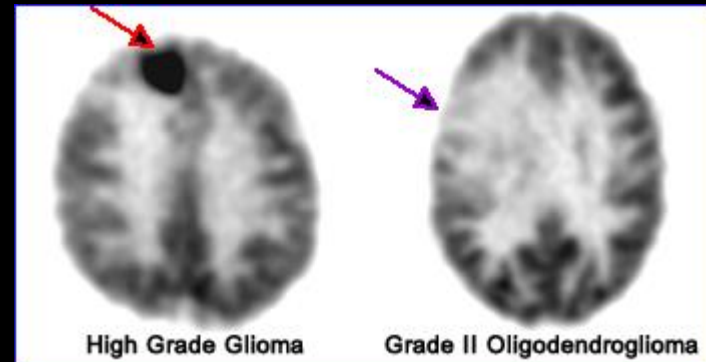
Source:
Basu S, et al.
Indian Journal of Cancer 2010;47(4): 371-379
CC BY-NC-SA 3.0

ΒΑΘΜΟΣ ΚΑΚΟΗΘΕΙΑΣ

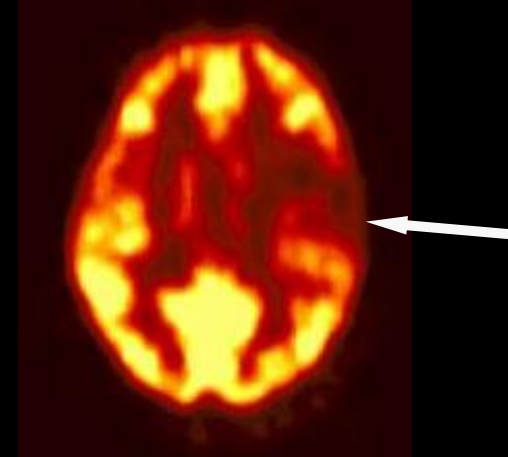
- ✓ Η συγκέντρωση της FDG (*SUVmax*) σχετίζεται με τον βαθμό κακοήθειας ("tumor biology")

A new dimension of FDG-PET interpretation: assessment of tumor biology

Kwee T, et al, EJNMMI, 2010

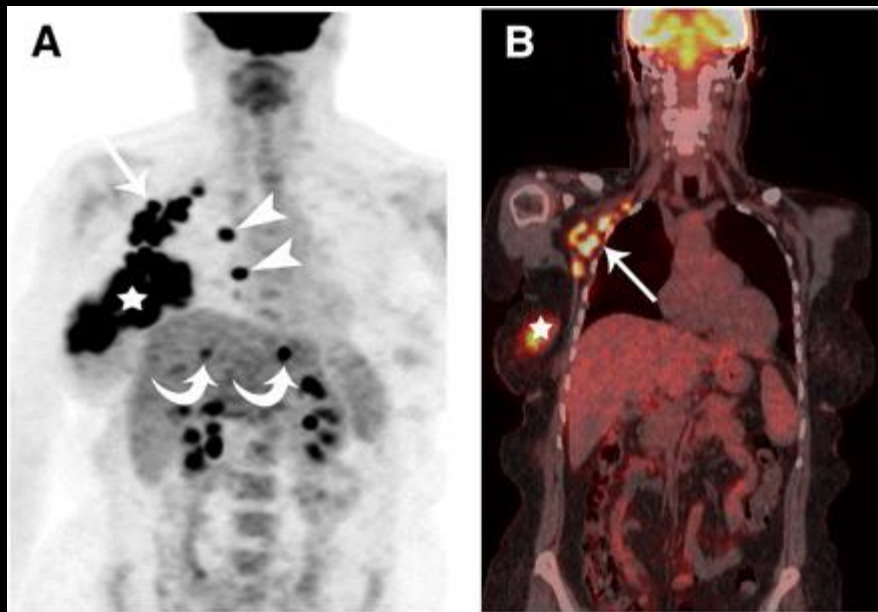


Γλοίωμα υψηλής κακοήθειας (FDG)



Γλοίωμα χαμηλής κακοήθειας (FDG)

ΔΙΑΓΝΩΣΗ & ΣΤΑΔΙΟΠΟΙΗΣΗ



(A) 18F-FDG PET

(B) PET/CT

Ασθενής με καρκίνο ΔΕ μαστού
Λεμφαδενικές και ηπατικές μεταστάσεις

Source:

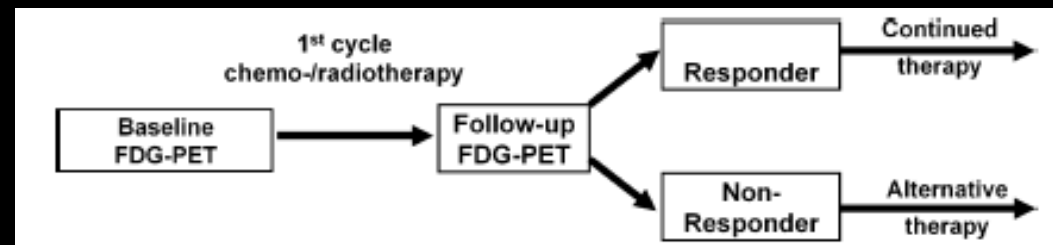
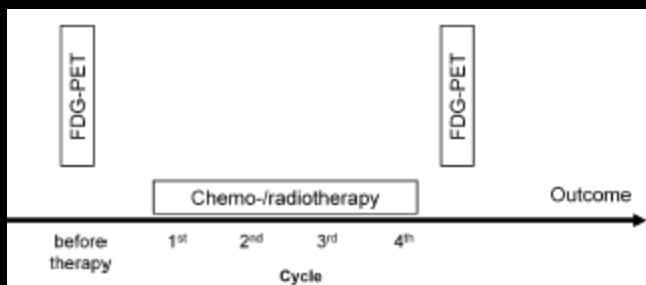
Carkaci S, et al.

Retrospective Study of 18F-FDG PET/CT in the Diagnosis of Inflammatory Breast Cancer: Preliminary Data.

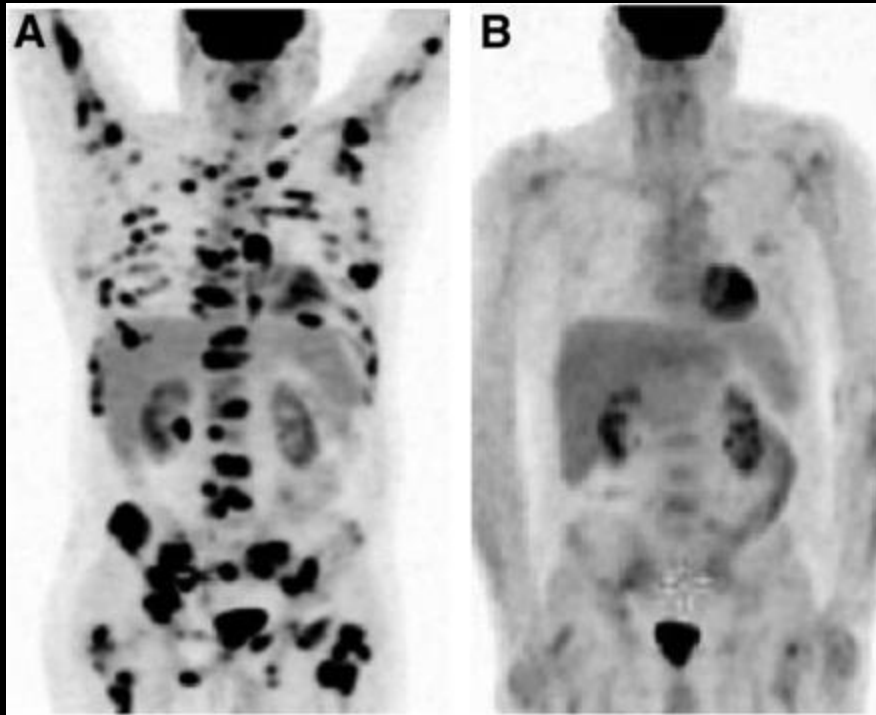
J Nucl Med 2009; 50(2):231-238.

ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ

- η μεταβολική απεικόνιση προηγείται της ανατομικής στην αξιολόγηση της ανταπόκρισης στην αγωγή, ενώ υπερτερεί και σε ειδικότητα (δ.δ. βιώσιμου ιστού από ουλή)
- απεικόνιση έως 2 εβδομάδες πριν και 2 εβδομάδες μετά το πέρας του χημειοθεραπευτικού σχήματος (stunning / flare phenomenon), **ιδανικά αναμονή 4-6 εβδομάδες μετά από ΧΜΘ και 2-6 μήνες μετά από ακτινοθεραπεία** –πρώιμη αξιολόγηση της ανταπόκρισης (μετά 1-2 κύκλους)
 - ✓ **πλήρης ανταπόκριση:** ίδια συγκέντρωση της FDG στον όγκο με τους περίξ φυσιολογικούς ιστούς
 - ✓ **μερική ανταπόκριση:** μείωση της SUV 15-25% μετά τον 1^ο κύκλο και >25% μετά τους επόμενους κύκλους θεραπείας
 - ✓ **σταθερή νόσος:** μείωση της SUV <15% ή αύξηση <25%, χωρίς μεταβολή στην έκταση του όγκου
 - ✓ **επιδείνωση:** αύξηση της SUV >25% - οπτική αύξηση της συγκέντρωσης, εμφάνιση νέων εστίων (EORTC Recommendations)
- ✓ **Βελτίωση της ακρίβειας με PET-CT** (συνδυασμός ανατομικών-μεταβολικών κριτηρίων, ανίχνευση μικρομεταστάσεων)



ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ



Diffuse large B-cell lymphoma

Bone marrow involvement

Source:

Berthet L, et al.

In Newly Diagnosed Diffuse Large B-Cell Lymphoma, Determination of Bone Marrow Involvement with ¹⁸F-FDG PET/CT Provides Better Diagnostic Performance and Prognostic Stratification Than Does Biopsy

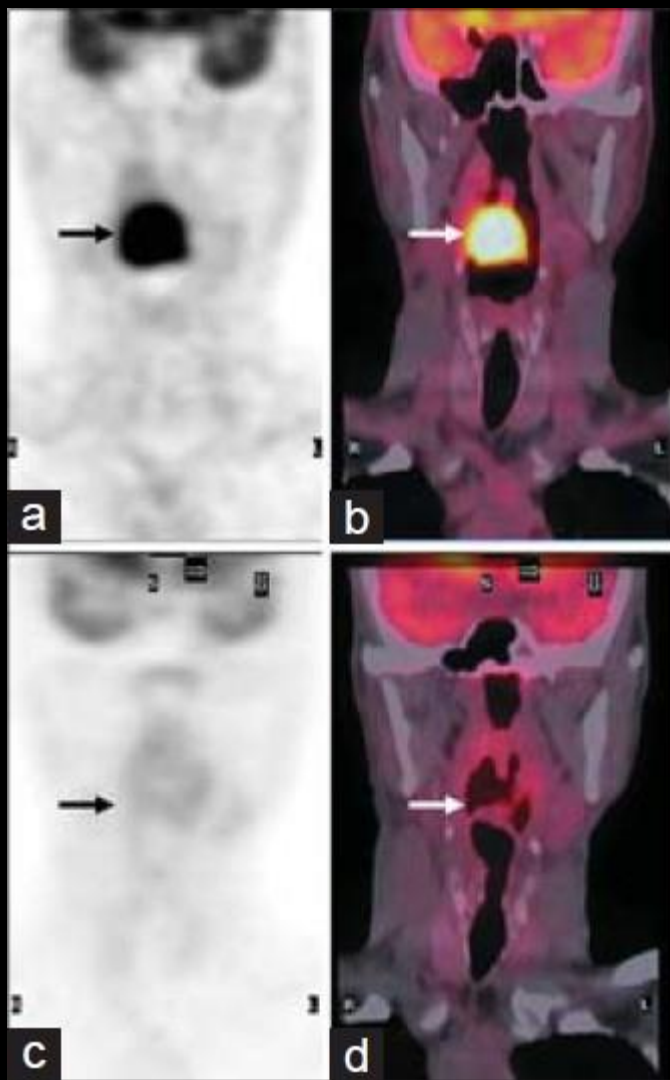
J Nucl Med 2013;54(8):1244-1250

ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ

Ασθενής με όγκο στον υποφάρυγγα

(A) Πριν την εφαρμογή θεραπείας

(B) 8 w μετά την εφαρμογή ΧΜΘ-ΑΚΘ



Source:

Purandare N, et al.

Post-treatment appearances, pitfalls, and patterns of failure in head and neck cancer on FDG PET/CT imaging

Indian J Nucl Med 2014;29:151-7

CC BY-NC-SA 3.0

ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ

(δ.δ. βιώσιμου από νεκρωμένο ιστό)

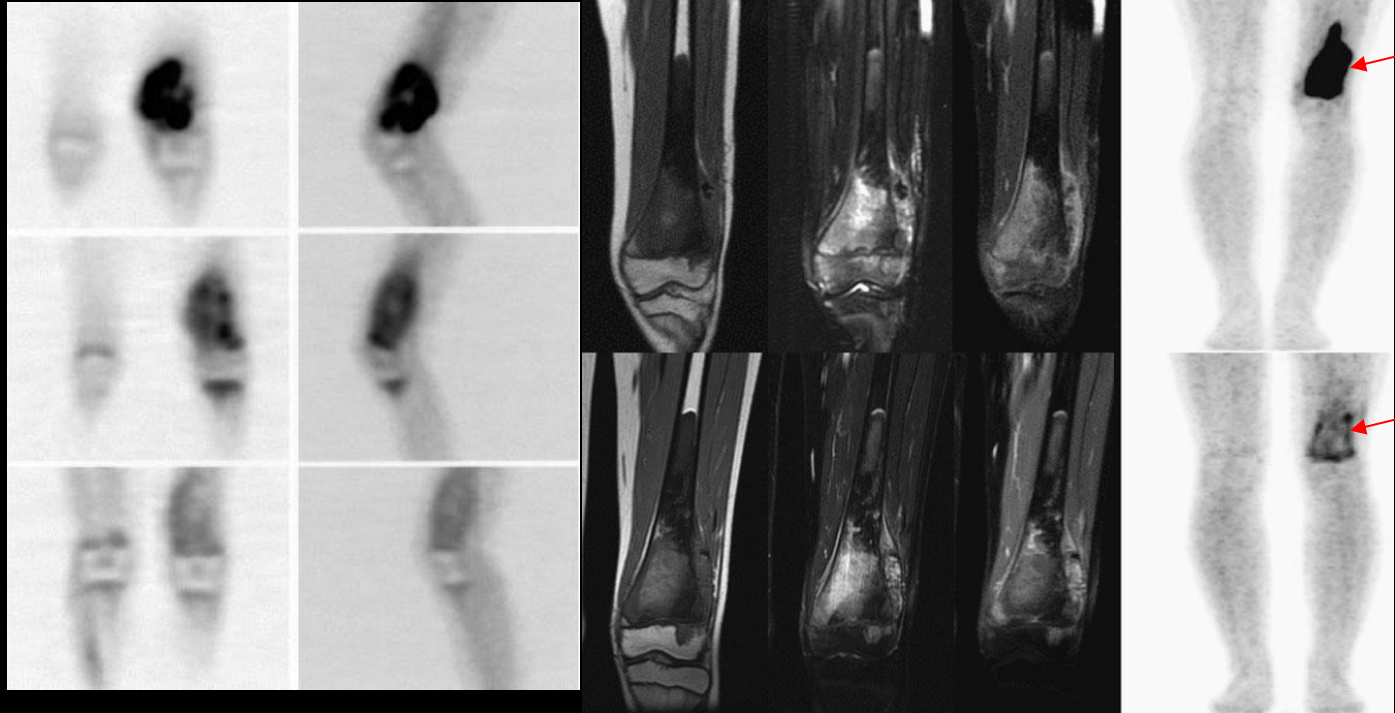
Υψηλής κακοήθειας οστεοσάρκωμα

Οστεοσάρκωμα

Πριν την θεραπεία
(SUVmax: 10.8)

Πριν τον 3^ο κύκλο
ΧΜΘ
(SUVmax: 4.1)

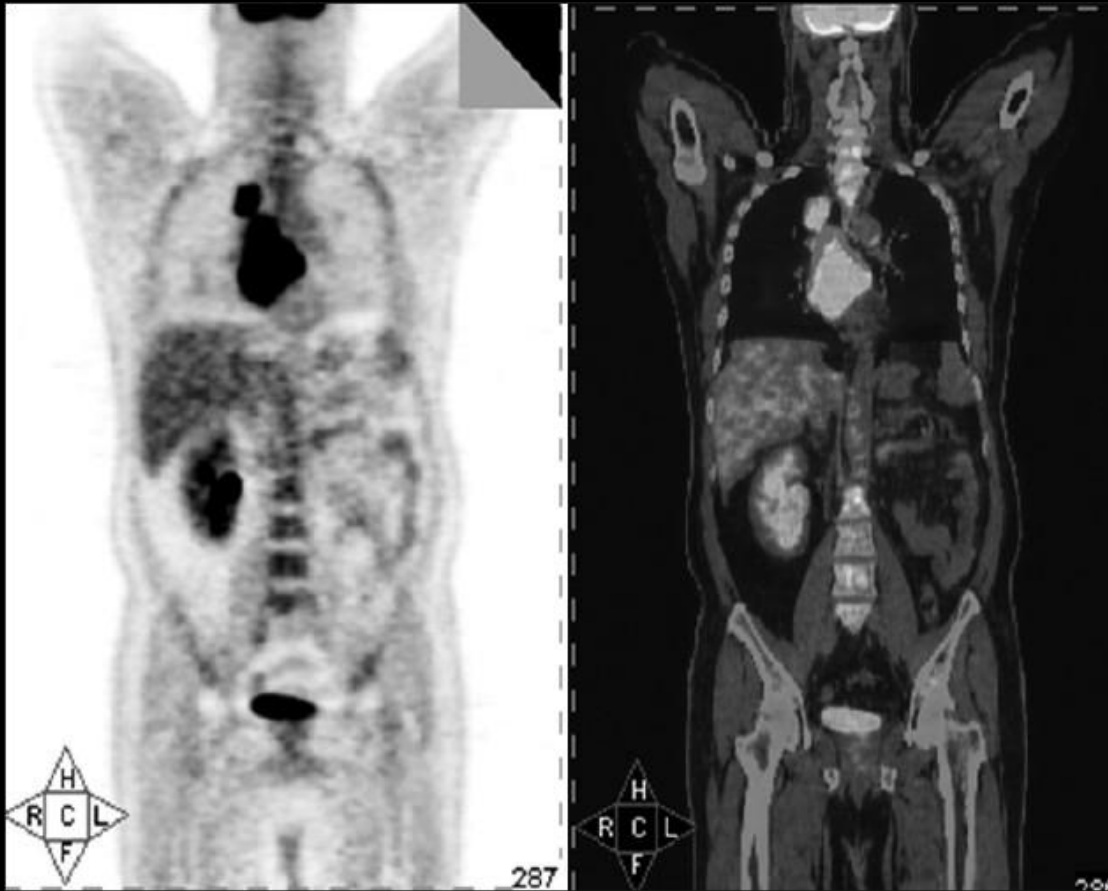
Τέλος ΧΜΘ –
πριν το χειρουργείο
(SUVmax: 1.5)



Μείωση SUVmax κατά 76% (από 9.1 σε 2.2)

Καλή μεταβολική ανταπόκριση
(νέκρωση >90%)

ΕΠΑΝΑΣΤΑΔΙΟΠΟΙΗΣΗ



Ασθενής με καρκίνο ΑΡ νεφρού

Επανασταδιοποίηση μετά από
νεφρεκτομή και ΧΜΘ

Ύποπτοι λεμφαδένες μεσοθωρακίου
=> **φυματίωση**

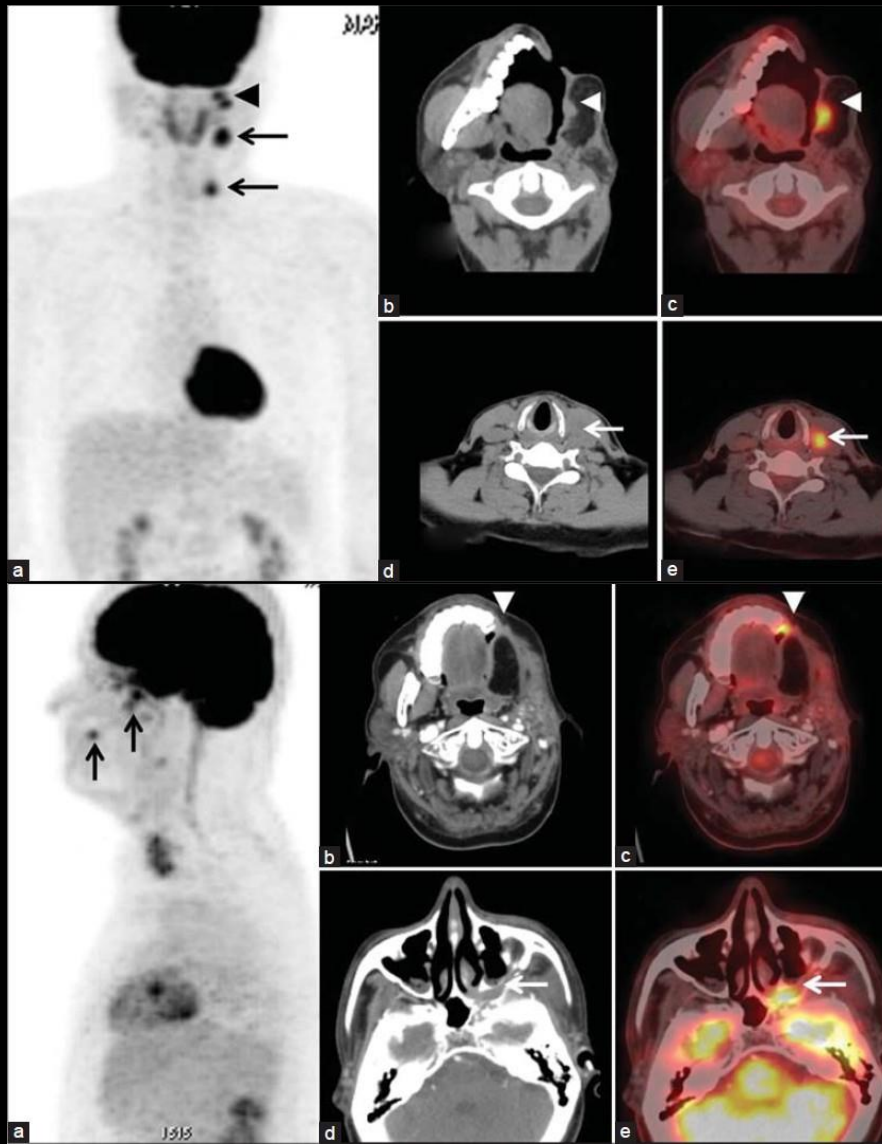
Source:

Basu S, et al.

Indian Journal of Cancer 2010;47(4): 371-379

CC BY-NC-SA 3.0

FOLLOW UP – ΥΠΟΤΡΟΠΗ



**Ασθενείς με καρκίνο
στοματικής κοιλότητας**

Τοπική υποτροπή

Λεμφαδενική διασπορά

Source:

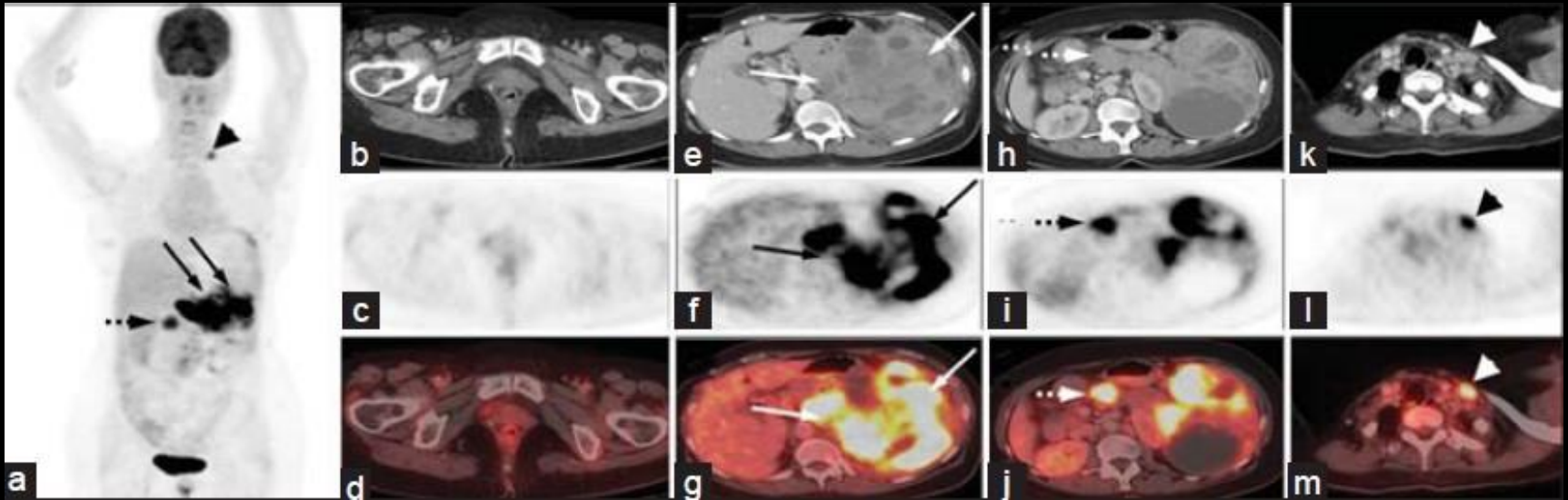
Purandare N, et al.

Post-treatment appearances, pitfalls, and patterns of failure in head and neck cancer on FDG PET/CT imaging

Indian J Nucl Med 2014;29:151-7

CC BY-NC-SA 3.0

FOLLOW UP – ΥΠΟΤΡΟΠΗ



Ασθενής με καρκίνο τραχήλου μήτρας, 3 έτη μετά την εφαρμογή θεραπείας

Μεταστατική διασπορά σε σπλήνα, πάγκρεας και διηθημένοι υπερκλειδίοι λεμφαδένες

Source:

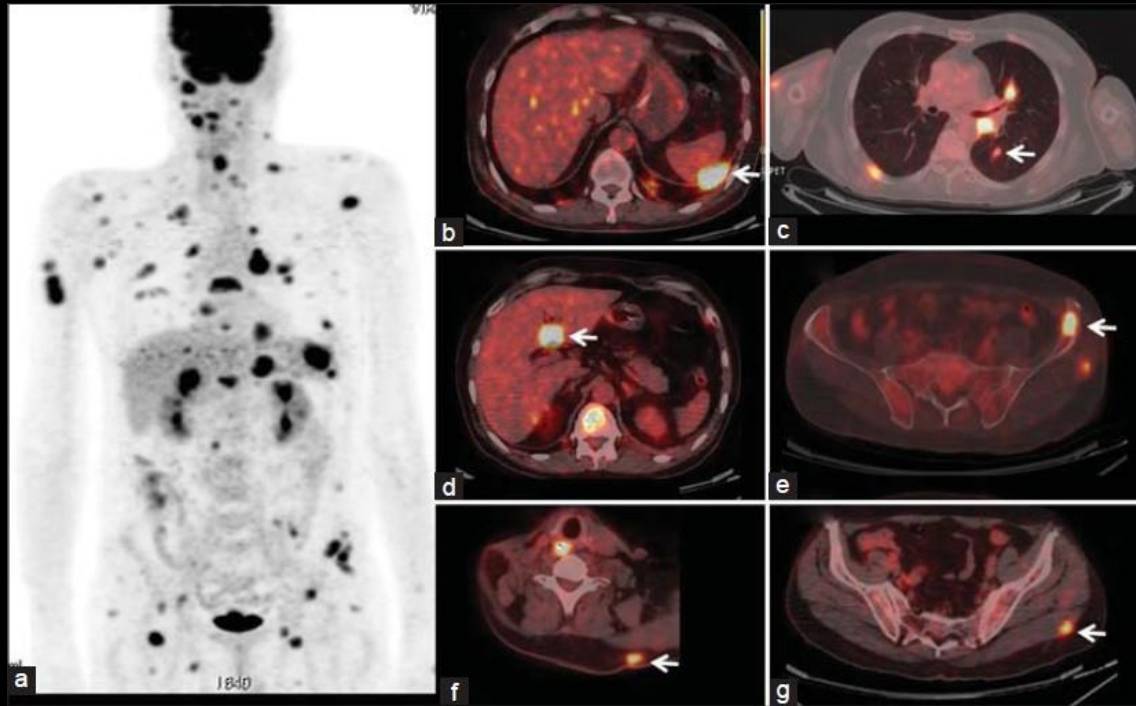
Chatterjee P, et al.

Recurrent carcinoma cervix presenting as metastatic splenomegaly: 18F-FDG PET/CT findings in a rare scenario

Indian J Nucl Med 2017; 29(3): 200-201

CC BY-NC-SA 3.0

FOLLOW UP – ΥΠΟΤΡΟΠΗ



Ασθενείς με καρκίνο στοματικής κοιλότητας

Πολλαπλές μεταστάσεις (σπλήνας, ήπαρ, πνεύμονες, οστά, μύες, υποδόριος ιστός)

Source:

Purandare N, et al.

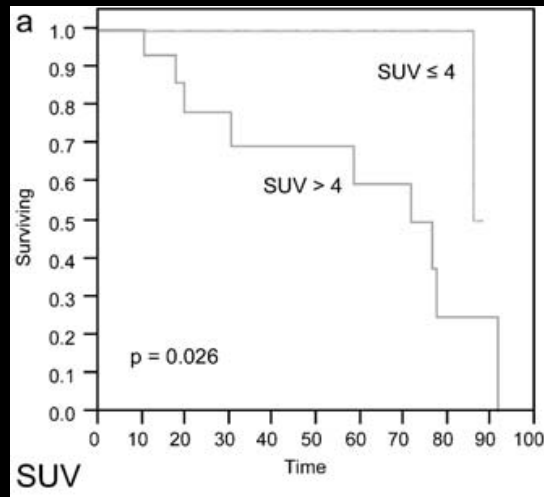
Post-treatment appearances, pitfalls, and patterns of failure in head and neck cancer on FDG PET/CT imaging

Indian J Nucl Med 2014;29:151-7

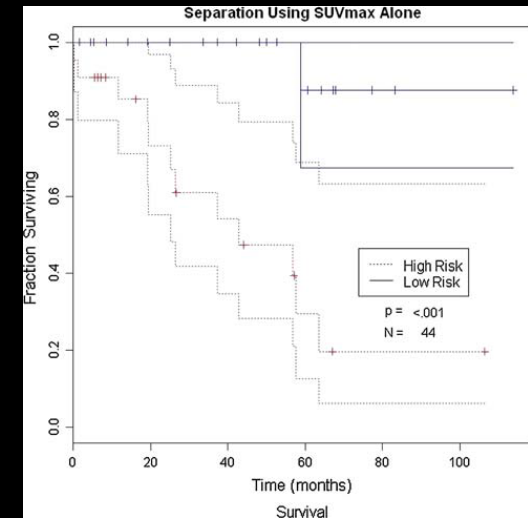
CC BY-NC-SA 3.0

ΠΡΟΓΝΩΣΗ

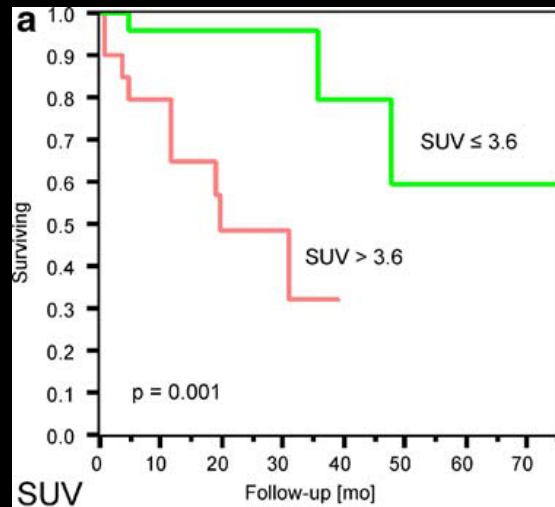
Χονδροσάρκωμα



Σάρκωμα αρθρικού υμένα

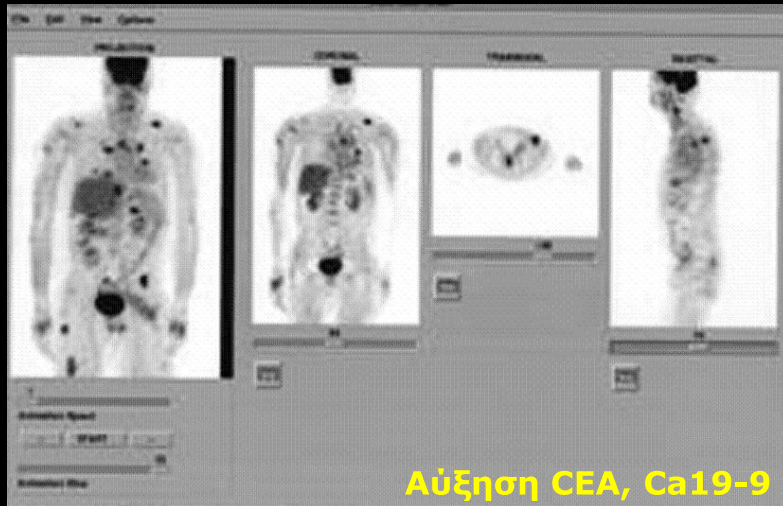


Λιποσάρκωμα



SUVmax cut-off: 4.35

ΥΨΗΛΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΡΚΙΝΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΟΓΚΟΙ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΠΡΩΤΟΠΑΘΟΥΣ ΕΣΤΙΑΣ



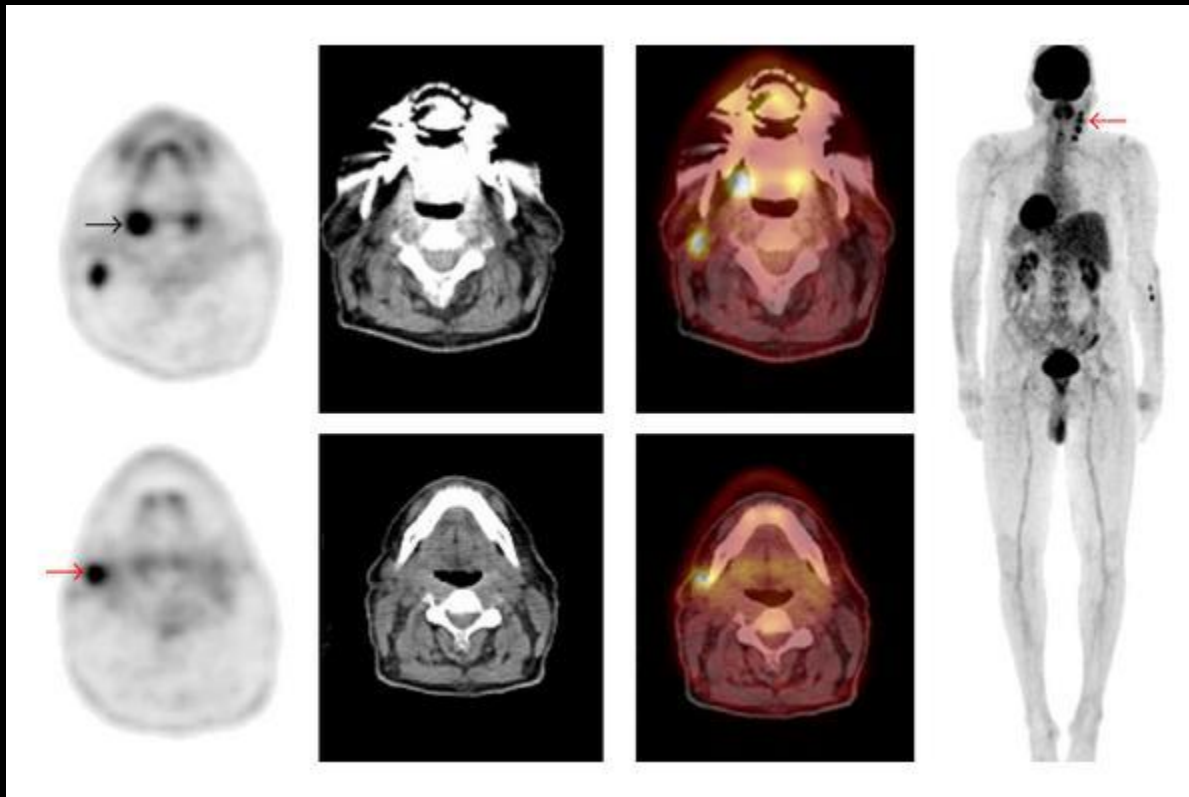
➤ διευκρίνηση 20-57%

των περιπτώσεων μεταστατικού καρκίνου αγνώστου πρωτοπαθούς εστίας

➤ ανίχνευση της βλάβης σε ασθενείς με

αύξηση της τιμής των καρκινικών δεικτών

ΟΓΚΟΙ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΠΡΩΤΟΠΑΘΟΥΣ ΕΣΤΙΑΣ



Ασθενής με τραχηλική λεμφαδενοπάθεια, καρκίνωμα αγνώστου πρωτοπαθούς εστίας

PET απεικόνιση: παθολογική εστία στη ΔΕ αμυγδαλή (+ τραχηλικοί λεμφαδένες)

Source:

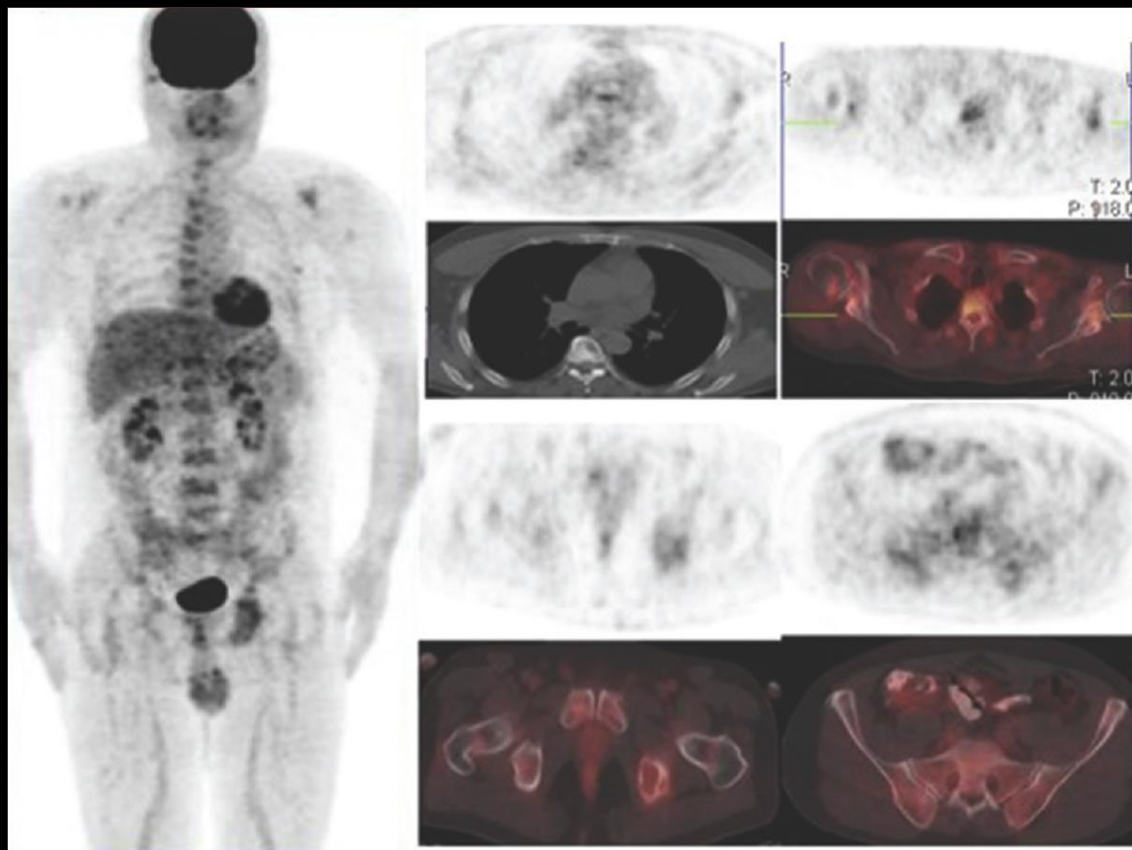
Akram Al-Ibraheem, Andreas Buck, Bernd Joachim Krause, Klemens Scheidhauer, and Markus Schwaiger, "Clinical Applications of FDG PET and PET/CT in Head and Neck Cancer," *Journal of Oncology*, vol. 2009, Article ID 208725, 13 pages, 2009.

doi:10.1155/2009/208725N, et al.

Post-treatment appearances, pitfalls, and patterns of failure in head and neck cancer on FDG PET/CT imaging

CC BY 3.0

ΟΓΚΟΙ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΠΡΩΤΟΠΑΘΟΥΣ ΕΣΤΙΑΣ



Ασθενής με πόνο στο ισχίο

MRI:

Λυτικές βλάβες στην πύελο

18F-FDG PET:

Παθολογικές εστίες σε πύελο, ΣΣ, στέρνο, ωμοπλάτες

Πολλαπλούν μυέλωμα

Source:

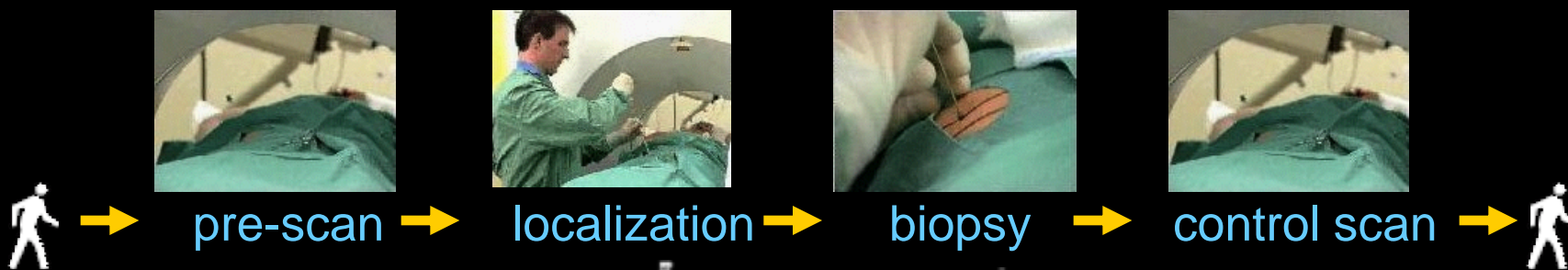
Tamam C, et al.

The accuracy of 18F-Fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in the evaluation of bone lesions of undetermined origin.

World J Nucl Med 2016;15:124-9

CC BY-NC-SA 3.0

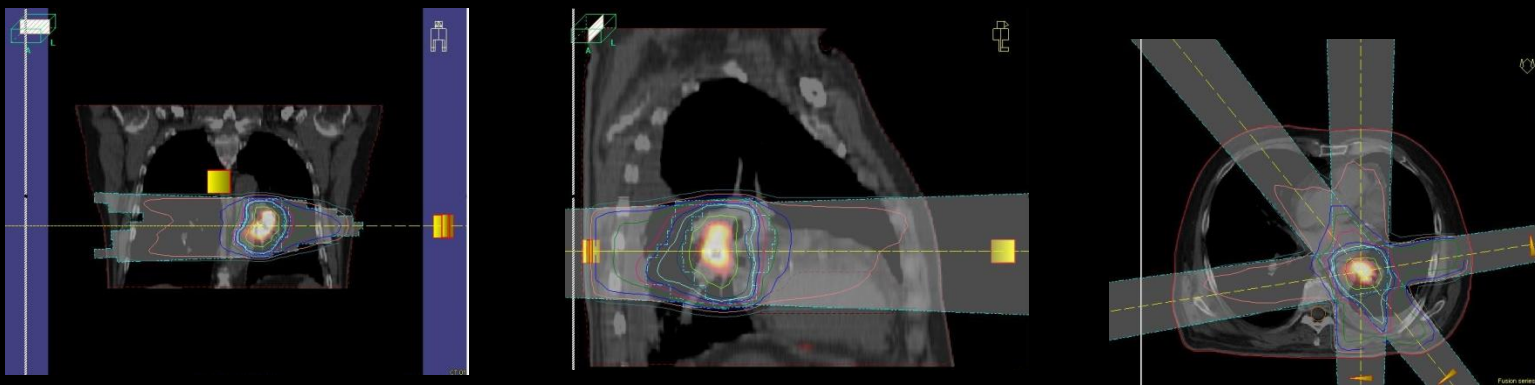
ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΗ ΒΙΟΨΙΑ



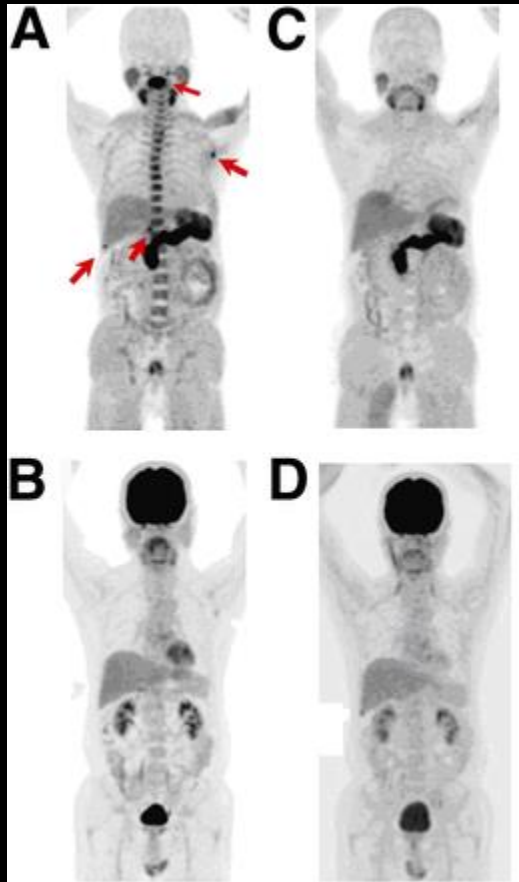
Λήψη βιοψίας από την πλέον μεταβολικά ενεργό περιοχή του όγκου

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΝΟΥ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ (MRTP)

- ✓ Εκτίμηση του «**βιολογικού**» όγκου ακτινοβόλησης (MTV=MTDXSUV)
 - ✓ ανάδειξη μεταβολικά ενεργών περιοχών
 - ✓ αξιολόγηση της μεταβολικής δραστηριότητας ανατομικών ευρημάτων
 - ✓ αλλαγή σταδιοποίησης
 - ✓ καθορισμός πεδίου ακτινοβόλησης (συνδυασμός IMRT με PET-CT)
 - ✓ μεταβολή του πλάνου ακτινοθεραπείας στο **27-58%** των ασθενών
 - ✓ ανάδειξη περισσότερων διηθημένων λεμφαδένων
 - ✓ ακριβέστερη διάκριση των ορίων του όγκου



ΑΛΛΑ ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ



Πολλαπλούν μυέλωμα

(A) ^{11}C -acetate PET/CT (προ θεραπείας)

(B) ^{18}F -FDG PET/CT (προ θεραπείας)

(C) ^{11}C -acetate PET/CT (μετά από θεραπεία)

(D) ^{18}F -FDG PET/CT (μετά από θεραπεία)

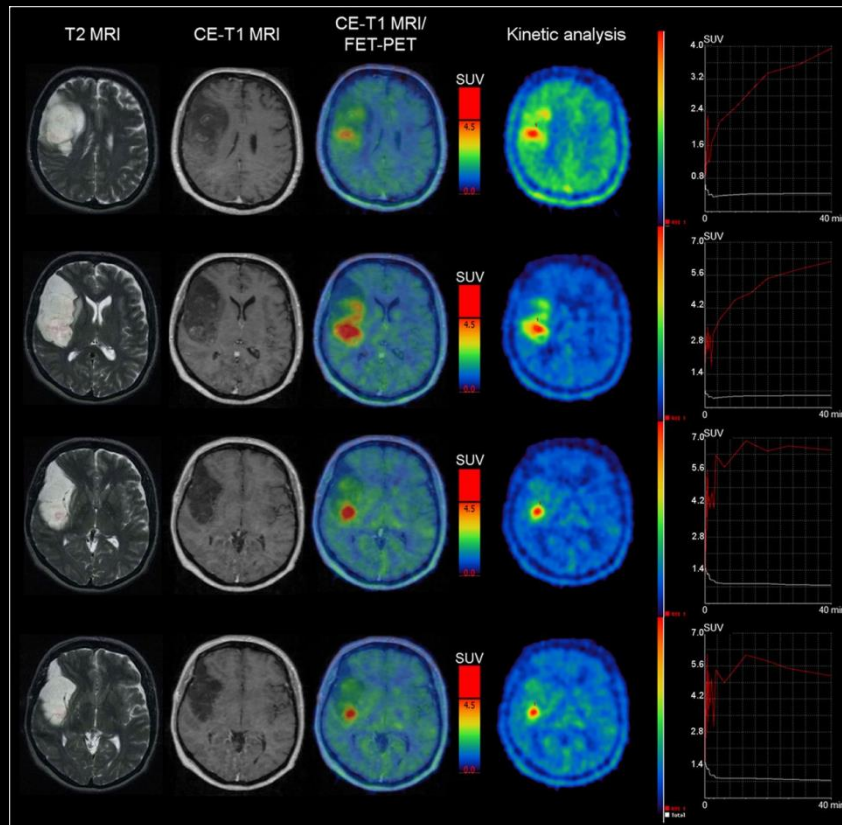
Source:

Ho CI, et al.

^{11}C -Acetate PET/CT for Metabolic Characterization of Multiple Myeloma: A Comparative Study with ^{18}F -FDG PET/CT

J Nucl Med 2014; 55(5):749-752.

ΑΛΛΑ ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ



18F-FET PET

Όγκος εγκεφάλου

Source:

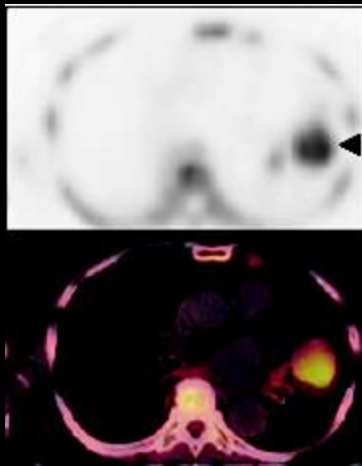
Jansen NL, et al.

Dynamic 18F-FET PET in Newly Diagnosed Astrocytic Low-Grade Glioma Identifies High-Risk Patients

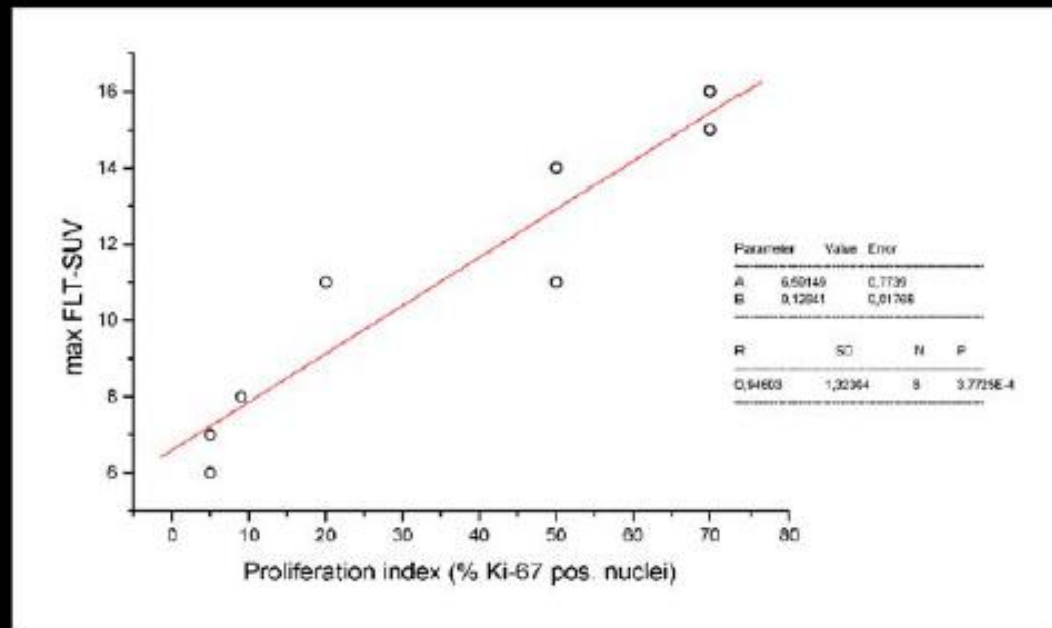
J Nucl Med 2014;55(2):198-203

ΑΛΛΑ ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ

[¹⁸F]FLT – correlation to proliferation index



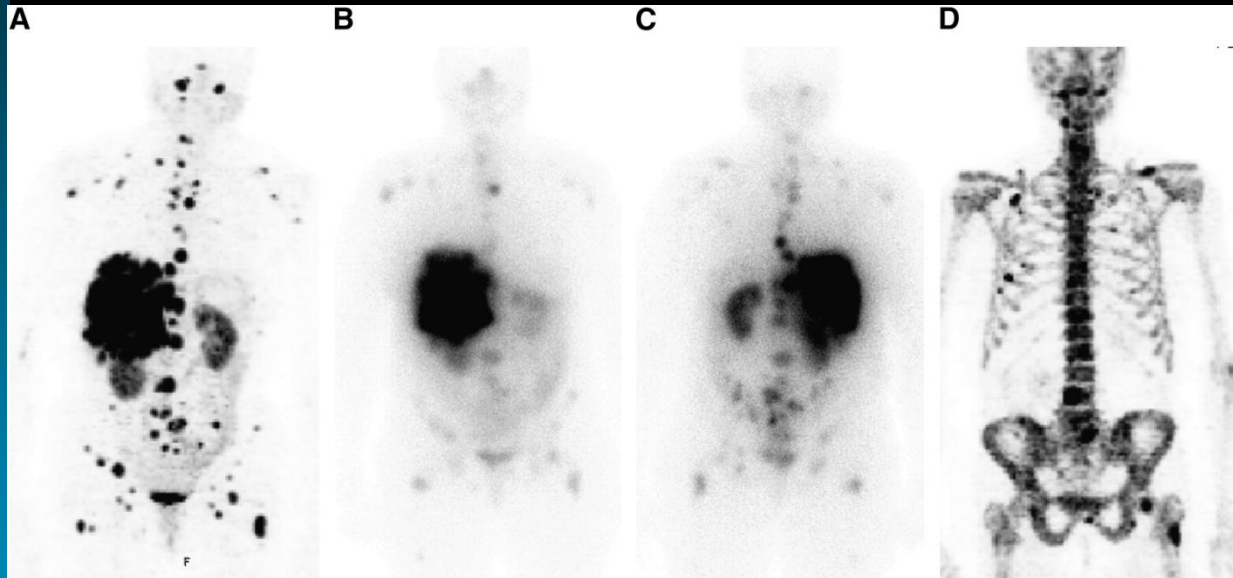
Αδενοκαρκίνωμα πνεύμονα
(¹⁸F-fluorothymidine PET-CT)



b

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

ΑΛΛΑ ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ



Νευροενδοκρινείς όγκοι

(A) ^{68}Ga -DOTA-TOC PET

(B) SPECT

(C) SPECT

(D) ^{18}F -Na-fluoride PET

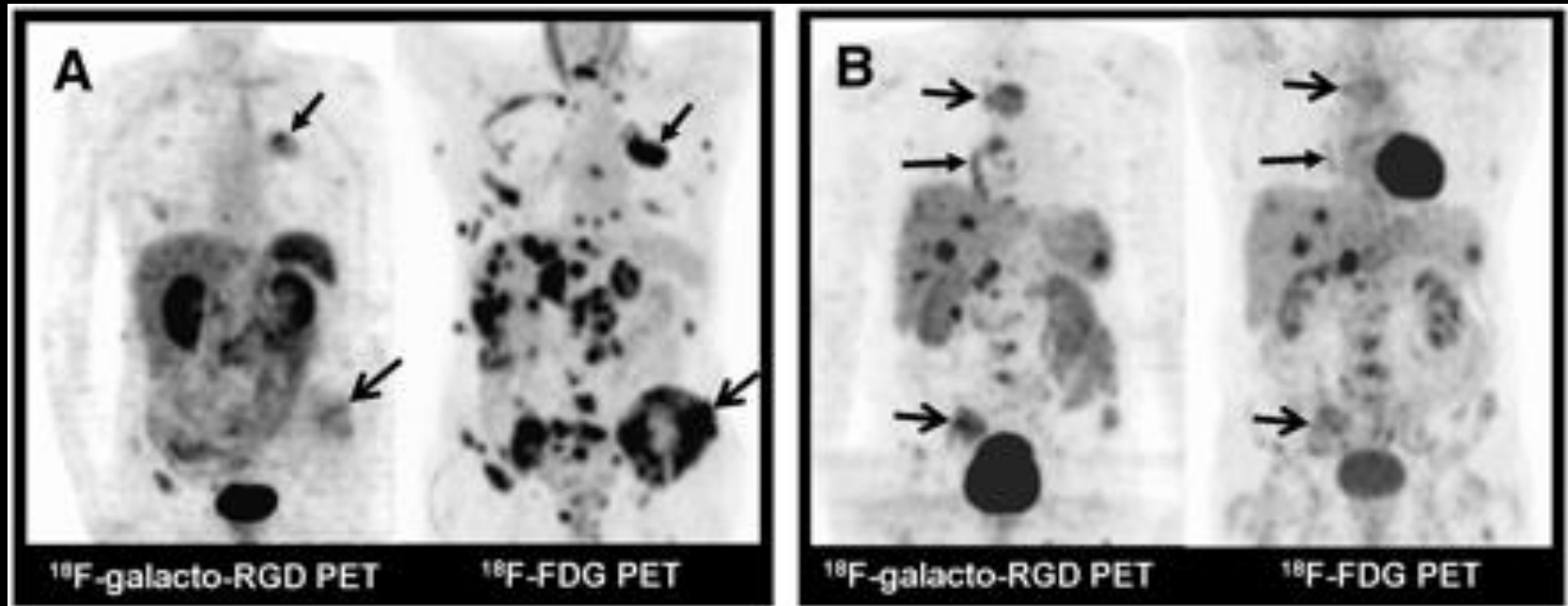
Source:

Gabriel M, et al.

^{68}Ga -DOTA-Tyr3-Octreotide PET in Neuroendocrine Tumors: Comparison with Somatostatin Receptor Scintigraphy and CT

J Nucl Med 2007;48(4):508-518

ΑΛΛΑ ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ



Source:

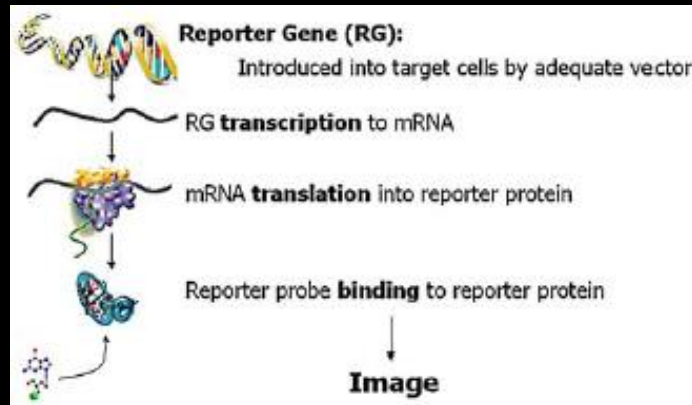
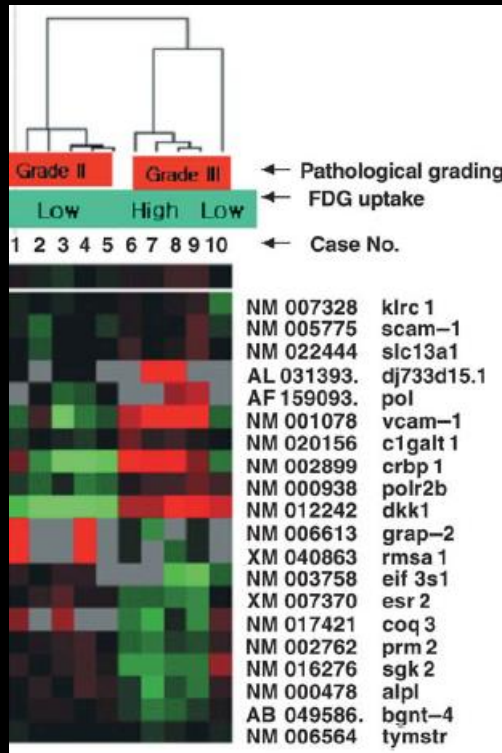
Beer Aj, et al.

Comparison of Integrin $\alpha\beta_3$ Expression and Glucose Metabolism in Primary and Metastatic Lesions in Cancer Patients: A PET Study Using ^{18}F -Galacto-RGD and ^{18}F -FDG

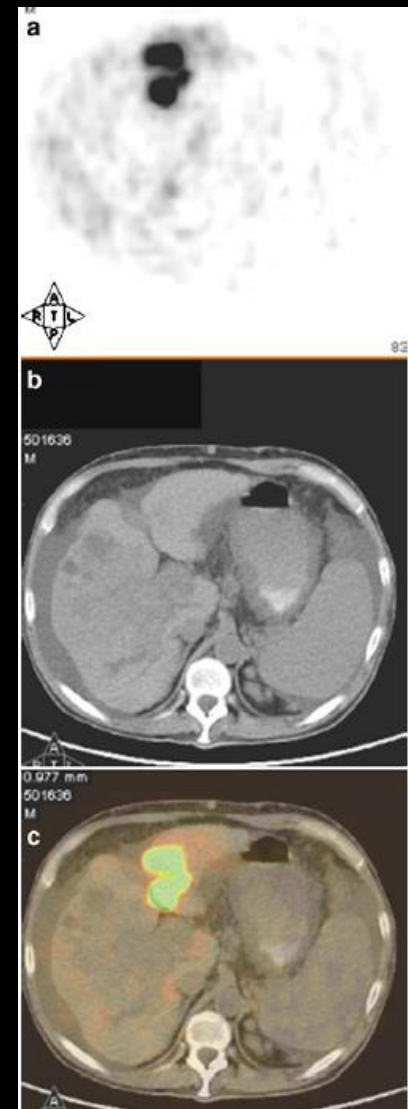
J Nucl Med 2008 vol. 49 no. 1 22-29

ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

- συσχέτισμός γονότυπου – φαινότυπου
- απεικόνιση γονιδιακής θεραπείας (*reporter gene / reporter probe approach*)



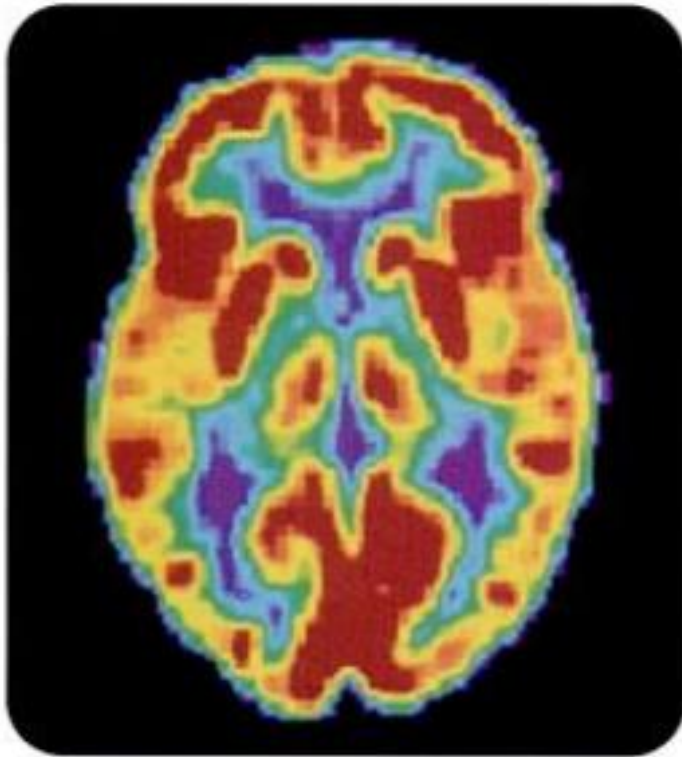
Reporter gene / reporter probe approach
 (Penuelas I. et al, EJNM, 2005)



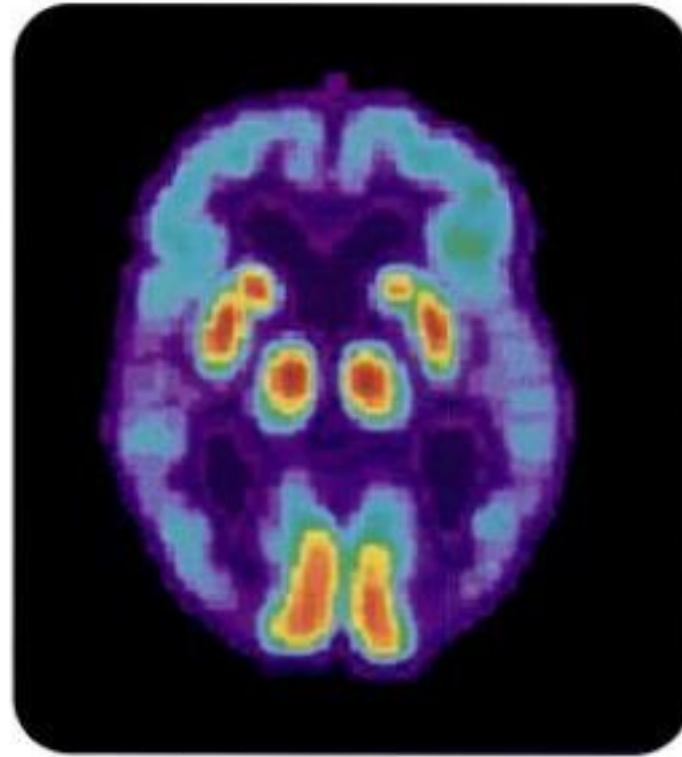
¹⁸F-FHBG PET-CT δύο ημέρες μετά από ενδοογκική χορήγηση HSV1-tk σε ασθενή με ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα (Penuelas I. et al, EJNM, 2005)

Σύγκριση γενετικού profile, συγκέντρωσης FDG και βαθμού κακοήθειας σε ασθενείς με ηπατοκυτταρικό καρκίνο
 (Lee JD. et al, EJNM, 2004)

ΝΟΣΟΣ ALZHEIMER



PET Scan of Normal Brain



PET Scan of Alzheimer's Disease Brain

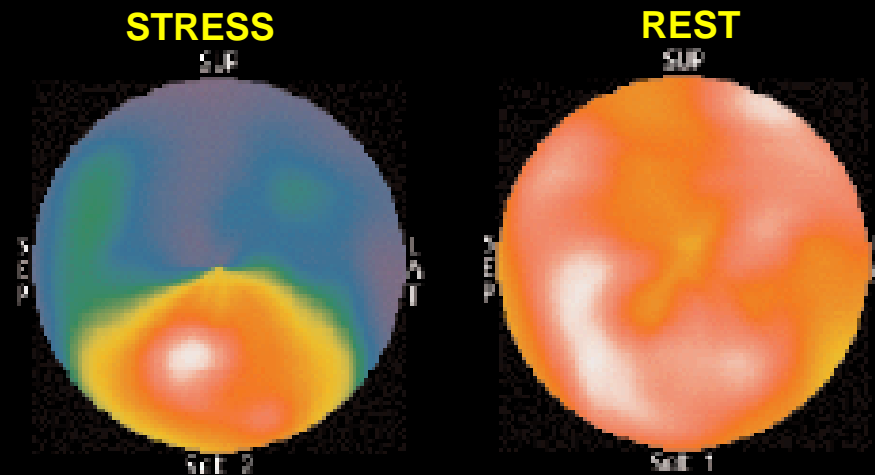
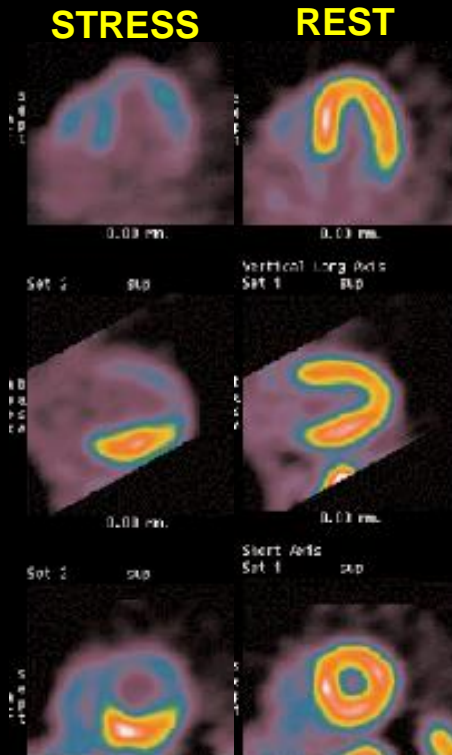
Source:

Health and Human Services Department, National Institutes of Health, National Institute on Aging
Wikimedia Commons

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΦΑΝΙΑΙΑΣ ΝΟΣΟΥ ΜΕ «ΡΕΤ» ΣΠΙΝΘΗΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

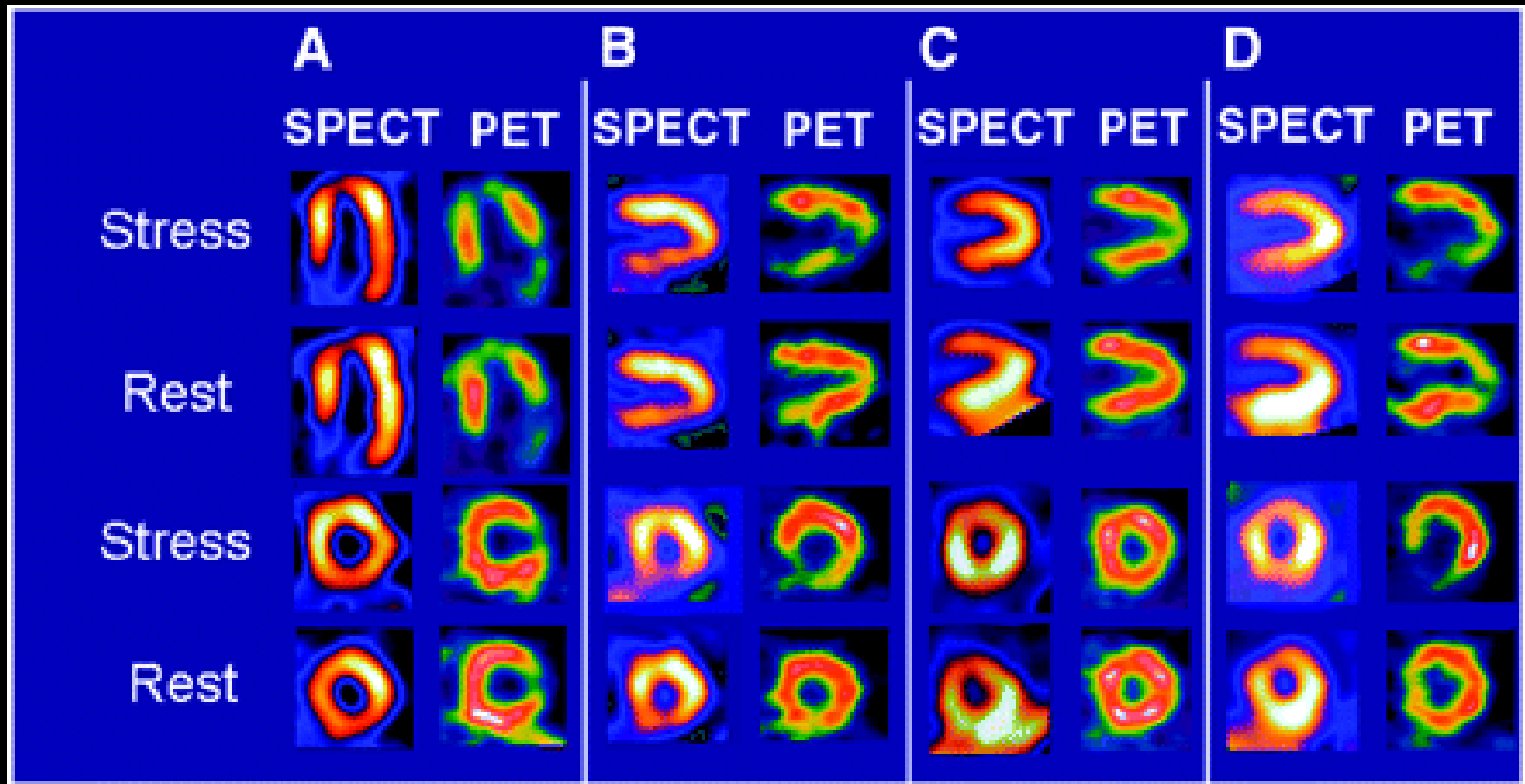
➤ sens. \approx 93%, spec. \approx 92%, norm. \approx 93%, acc \approx 91%.

**ΝΟΣΟΣ
ΣΤΕΛΕΧΟΥΣ**



ACC/AHA/ASNC Guidelines, 2003

82Rb PET: ΑΙΜΑΤΩΣΗ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΥ



Source:

Merhige ME, et al.

Impact of Myocardial Perfusion Imaging with PET and 82Rb on Downstream Invasive Procedure Utilization, Costs, and Outcomes in Coronary Disease Management.

J Nucl Med 2007; 48(7):1069-1076

ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ

- ✓ Η ποζιτρονική απεικόνιση, οδηγεί σε **εξοικονόμηση χρημάτων** (κυρίως σε ογκολογικούς ασθενείς), παρά το γεγονός ότι το κόστος της εξέτασης είναι σχετικά υψηλό
- ✓ Η **εξοικονόμηση δαπανών**, που σε ορισμένες περιπτώσεις **υπερβαίνει τα 2000-4000\$** ανά ασθενή (1500 - 3500\$ σε ασθενείς με καρκίνο πνεύμονα), οφείλεται στην καθοριστική συμβολή της μεθόδου στην ορθή διάγνωση, θεραπεία και παρακολούθηση των ασθενών
- ✓ *Η αποφυγή περιττών διαγνωστικών εξετάσεων και θεραπευτικών πράξεων, πέρα από οικονομικό όφελος έχει ανεκτίμητη αξία για την υγεία (συχνά και τη ζωή) του ασθενούς, ενώ απελευθερώνει υγειονομικές υπηρεσίες για εκείνους που έχουν πραγματική ανάγκη*

Δεν υπάρχει μονάδα PET-CT στην Ελλάδα εκτός Αθηνών & Θεσσαλονίκης!

DEBATE ???

✓ PET vs CT

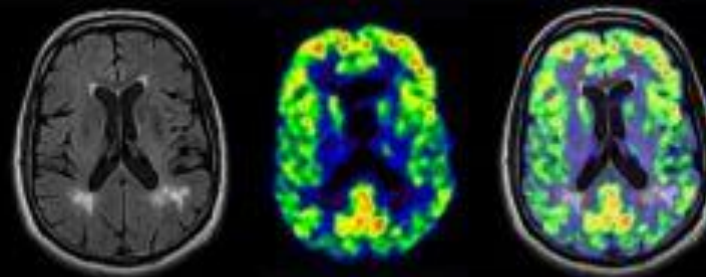


PET-CT
2000

✓ PET vs MRI



PET-MRI
2008



Courtesy of University Hospital, Tennessee, USA and University Hospital, Tuebingen, Germany

1^η υβριδική εξέταση

ΤΟ ΟΝΕΙΡΟ!

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ!

ΛΑΡΙΣΑ 5/11/2008
Αρ. Πρωτ. 7752

