

Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

? ΙΔΙΑΙΤΕΡΗ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΗ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

- Περίπου 1:9 γυναίκες θα αρρωστήσει με καρκίνο του μαστού
- Το ποσοστό γυναικών με κακίνο του μαστού που έχου φυσιολογική μαστογραία είναι υψηλό >10%
- ~75% από τις βιοψίες δεν δείχνουν καρκίνο

ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

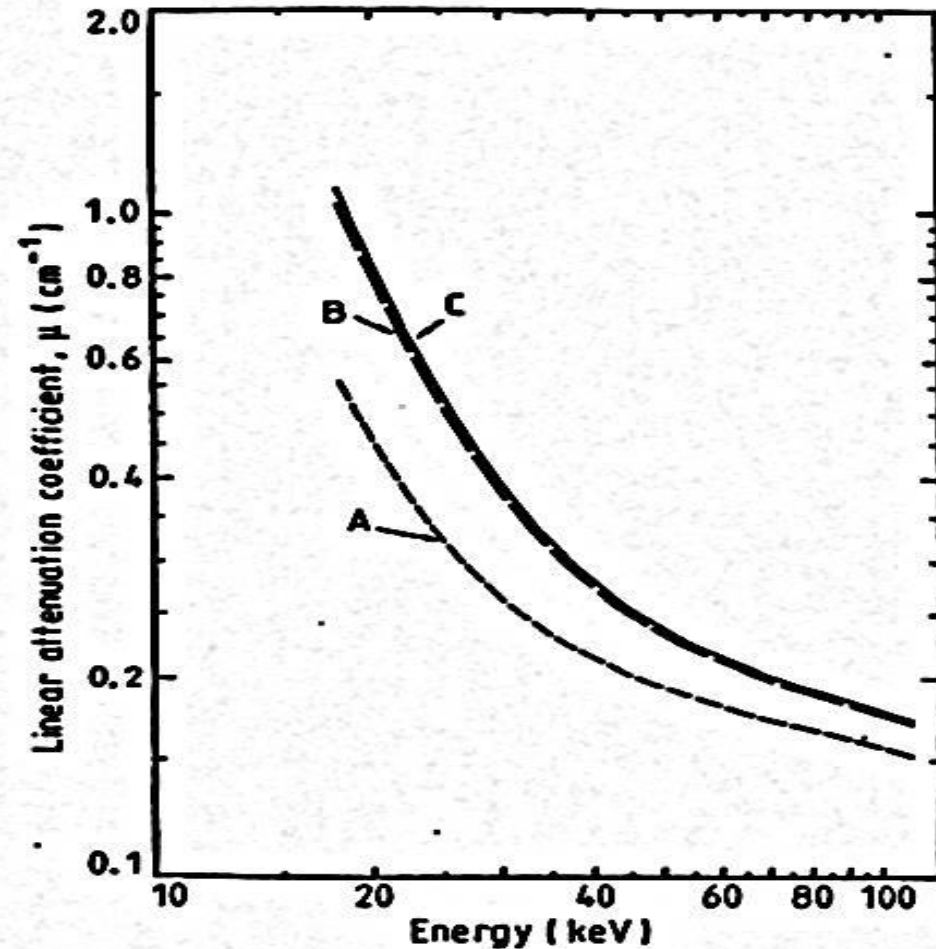
- Σύσταση του μαστού
- Εξάρτηση από τα kVp
- Φάσμα της ακτινολογικής δέσμης
- Πίεση
- Έλεγχος της ακτινοβολίας σκέδασης
- Μεγέθυνση

ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΣΤΟΥ

Table 1
Density and Attenuation Coefficient of Breast Tissue

Breast Tissue Type	Density (gr/cm ³)	Linear Attenuation Coefficient at 20 KeV (cm ⁻¹)
Mammary tissue		
Fibroglandular tissue	1.035	0.80
Adipose tissue (fatty)	0.93	0.45
Skin	1.09	0.80
Average breast (50% glandular, 50% adipose)	0.98	0.62
Lesion		
Carcinoma	1.045	0.85
Calcifications	2.2	12.5

Γιατί είναι πρόκληση η μαστογραφία



©1987 IOP
Publishing

Figure 7. Mean values of the linear attenuation coefficients for the three major types of breast tissue studied (A, fat; B, fibrous; C, infiltrating duct carcinoma).

ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΚΝΡ

- Η μείωση της διεισδυτικότητας της δέσμης πάντοτε βελτιώνει την αντίθεση αλλά αυξάνει τη δόση

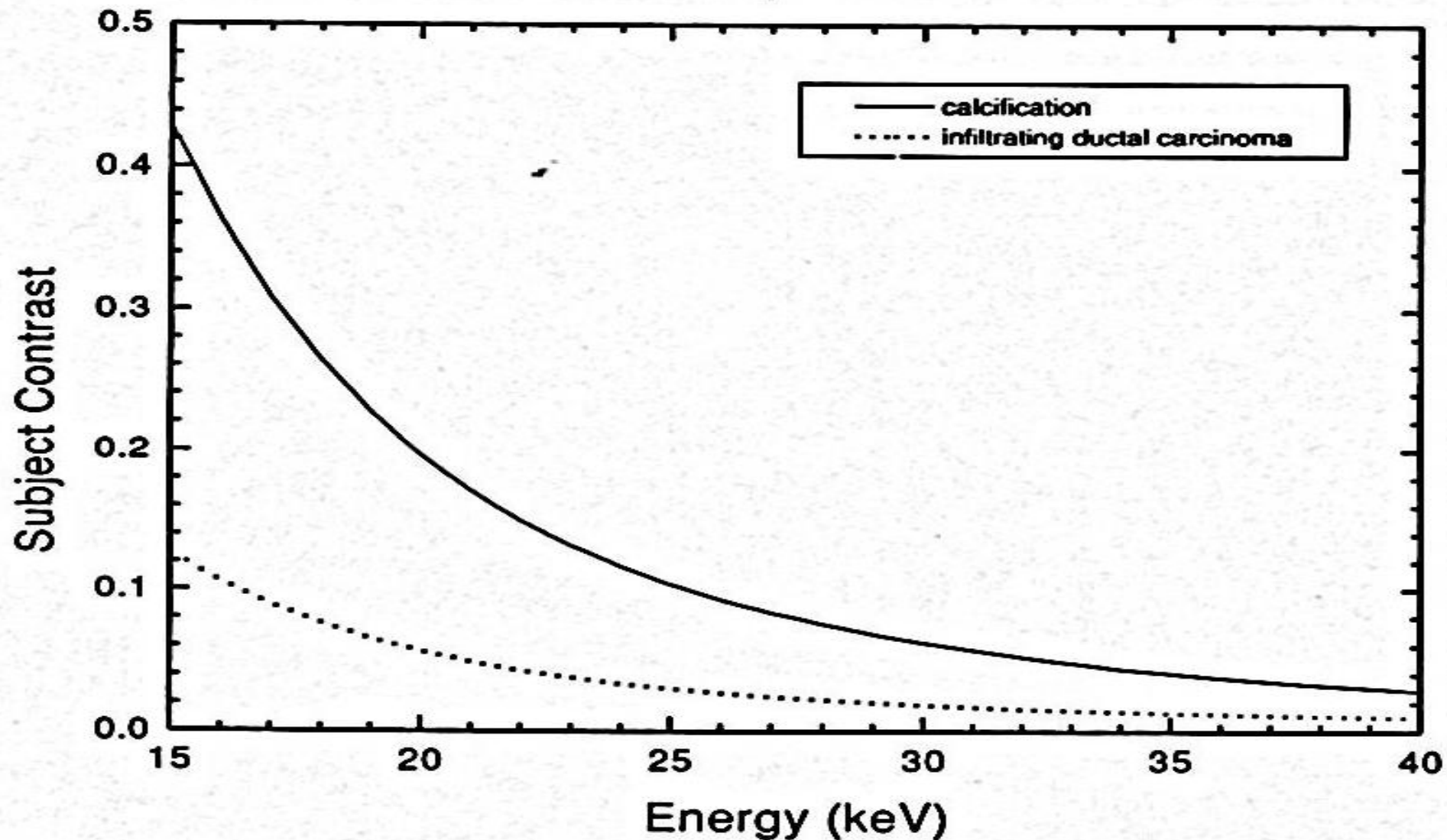


Figure 3. Graph depicts effect of x-ray energy on subject contrast for monoenergetic x rays imaging a 5-mm-diameter infiltrating ductal carcinoma in a 6-cm-thick breast.

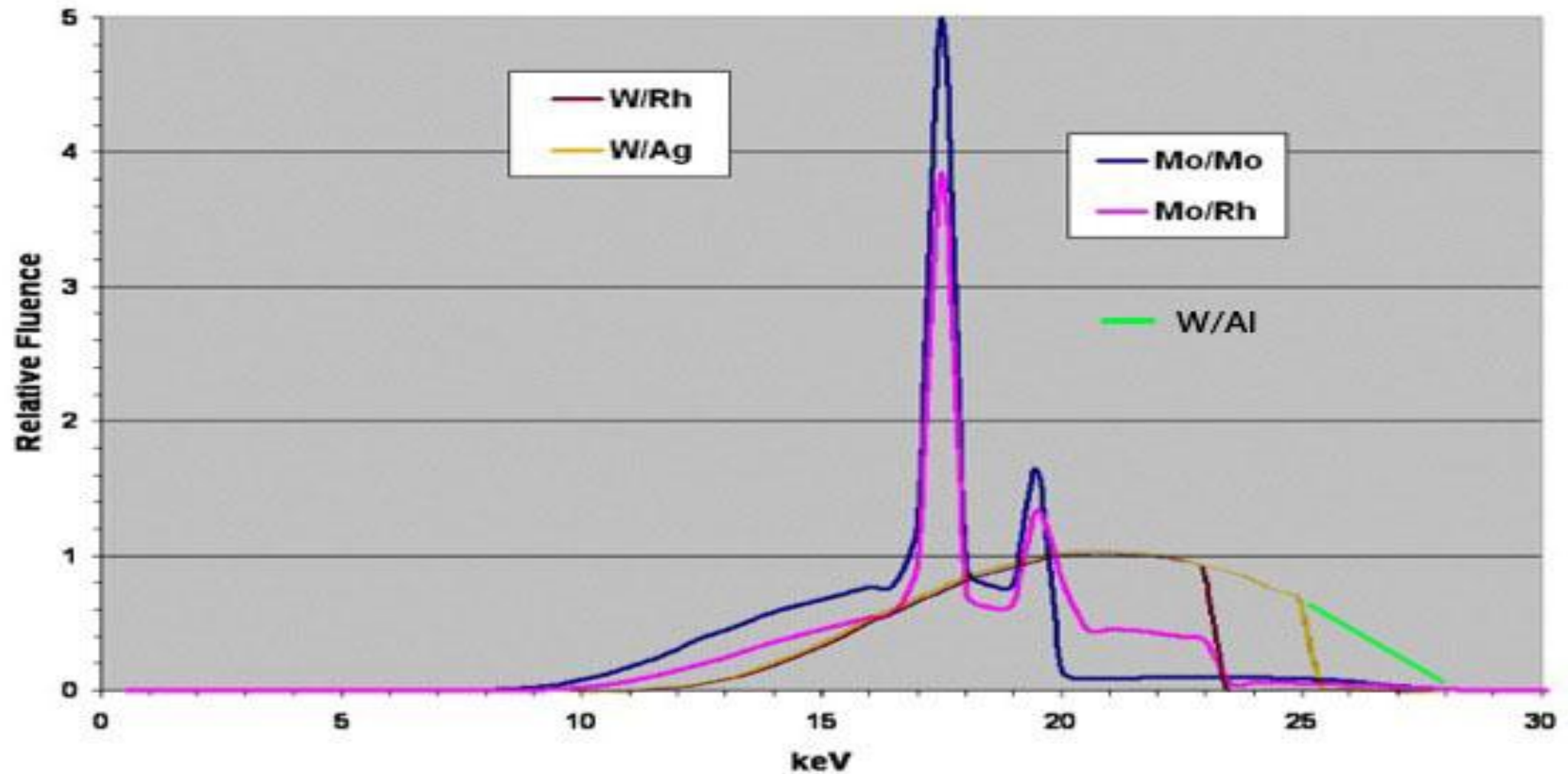
ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΚΝΡ

- Στην κλινική πράξη τα κΝρ έχουν μικρή επίδραση στη σκιαγραφική αντίθεση και χρησιμοποιούνται κυρίως για:
 - Προσαρμογή του χρόνου έκθεσης
 - Μείωση της κινητικής ασάφειας

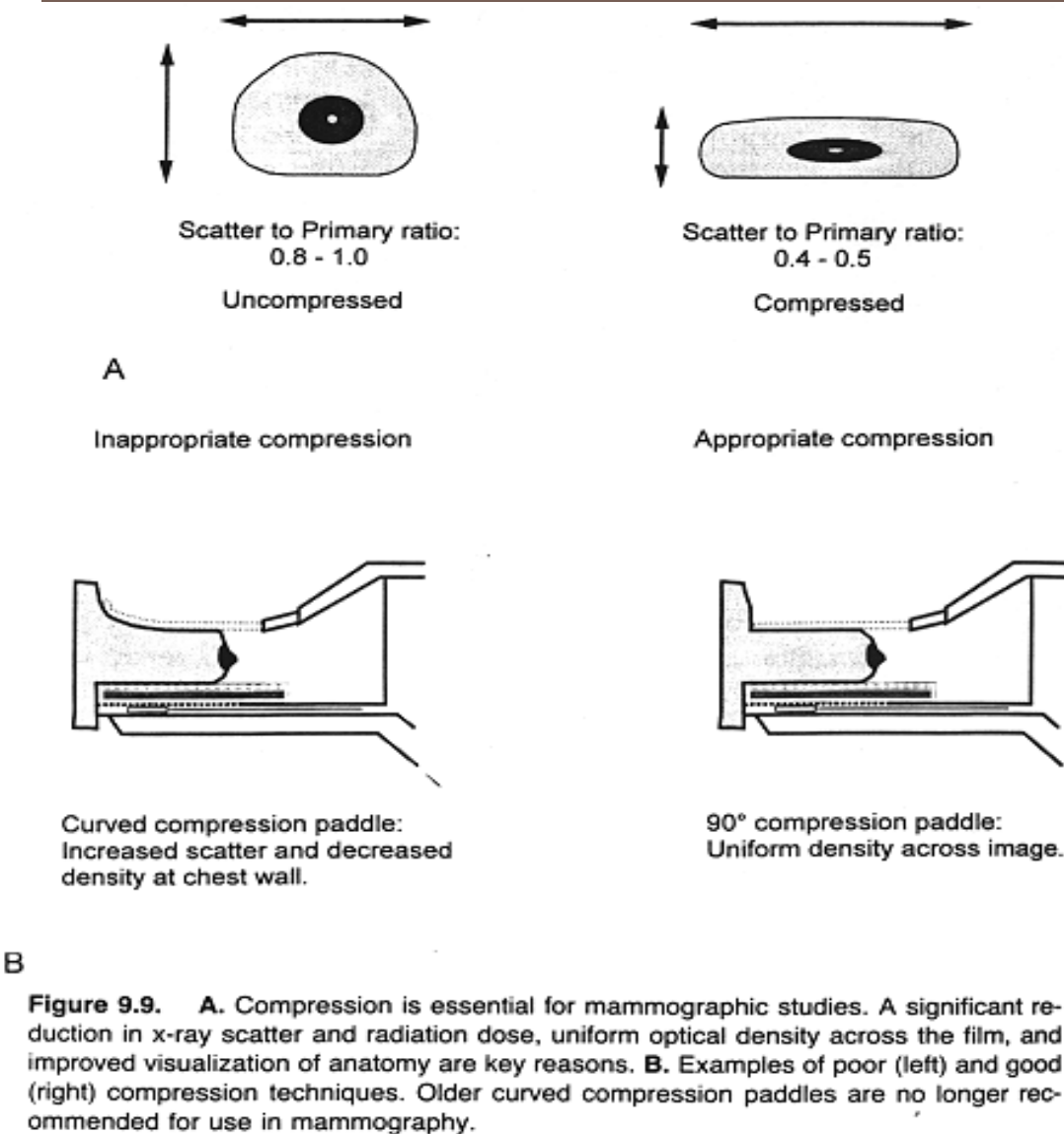
ΦΑΣΜΑ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ

- Το φάσμα της δέσμης εξαρτάται από:
 - kVp
 - Το συνδυασμό του υλικού της ανόδου και του ηθμού
 - Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh for GE
 - Mo/Mo, Mo/Rh, W/Rh for Siemens
 - Mo/Mo, Mo/Rh or W/Rh, W/Ag for Hologic
 - W/Rh, W/Ag, W/Al for Hologic DBT Tomo
 - W/Rh for Giotto
 - W/Rh for Fuji SapiRE HD
 - W/Rh, W/Ag for Planmed
 - W/Al for Philips

ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ



ΠΙΕΣΗ



Μείωση

- σκέδασης
- γεωμετρικής ασάφειας
- επιπροβολών
- κινητικής και γεωμετρικής ασάφειας
- σκλήρυνσης της δέσμης
- δόσης

Αύξηση του ποσοστού της χρήσιμης δέσμης

Ομοιόμορφο πάχος του μαστού

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ

- Το αντισκεδαστικό βελτιώνει κατά περίπου 40% τη σκιαγραφική αντίθεση της εικόνας
- Η πρωτογενής δέσμης διαπερνά το ΑΔ σε ποσοστό 60-70%
- Το ΑΔ απορροφά το 75-85% της ακτινοβολίας σκέδασης.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ

- Γραμμικά ΑΔ
 - Λόγος ΑΔ = 4:1 or 5:1 με πυκνότητα 30-40 lines/cm.
 - Τα συμβατικά ΑΔ έχουν λόγους= 8:1 έως 2:1 (και έως 43 lines/cm).
 - Η δόση αυξάνεται από τη χρήση του ΑΔ (Bucky Factor: x2 to x3) με 40% βελτίωση της ΣΑ
 - Εστιασμένα για την αποφυγή αποκοπής

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ

- Υψηλής διέλευσης κυψελωτό ΑΔ - High Transmission Cellular (HTC) Grid
 - Εστιασμένο
 - Αυξημένη 2-Δ απορρόφηση της ακτινοβολίας σκέδασης
 - Αύξηση της ΣΑ
 - Η μετακίνηση του πρέπει να είναι υψηλής ακριβείας κατά τη διάρκεια της έκθεσης και ανεξάρτητη από το χρόνο έκθεσης, ελέγχεται από μικροεπεξεργαστή
 - Πρακτικά έχει τον ίδιο λόγο ΑΔ με τα γραμμικά ΑΔ

HTC GRID

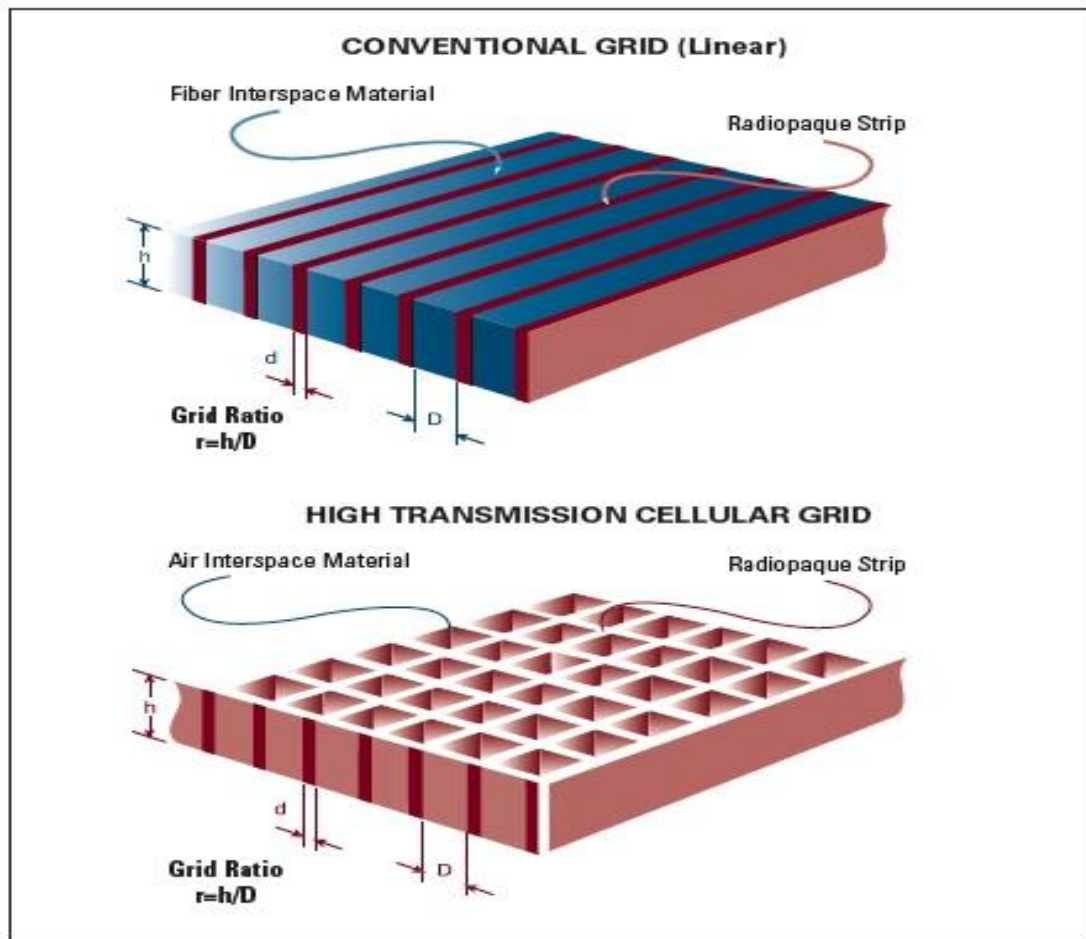
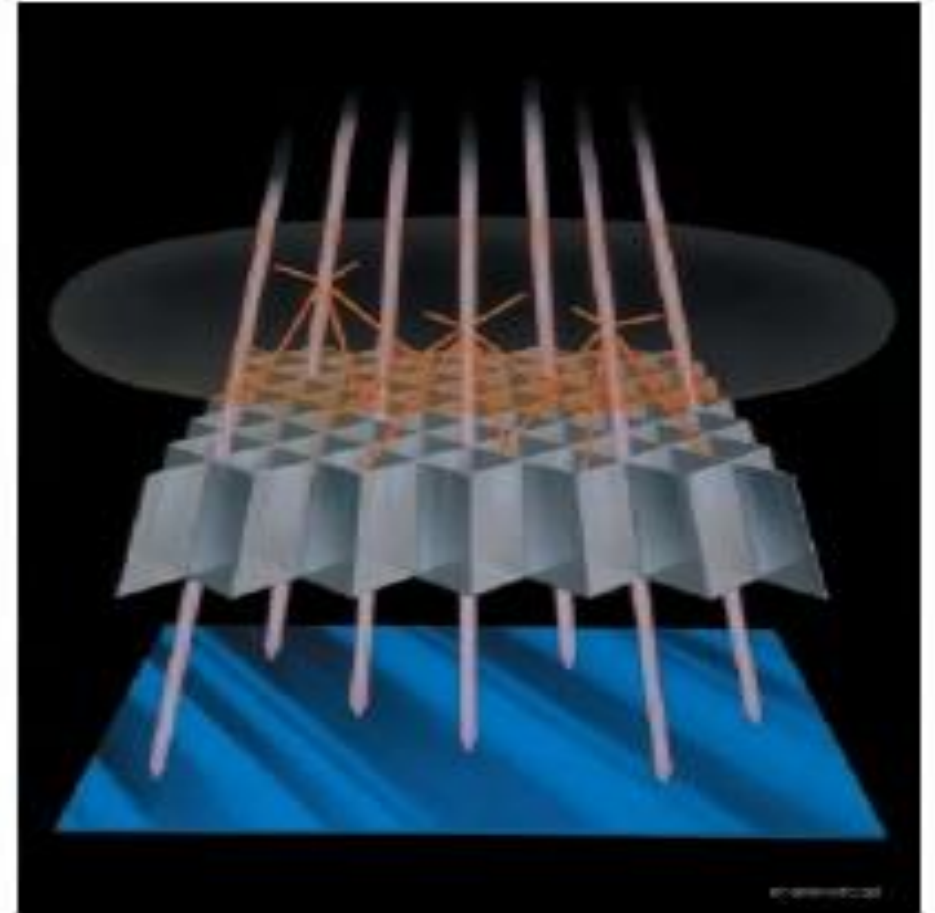


Figure 3. Details of the construction materials, and the calculation of grid ratio $r = h/D$, are shown for linear and cellular grids



http://www.hologic.com/oem/pdf/W-BI-HTC_HTC%20GRID_09-04.pdf

HTC GRID



Figure 4. Contrast Improvement Factors for HTC and Linear grids are shown as a function of compressed breast thickness

ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ

- αύξηση της ενεργού διακριτικής ικανότητας ανάλογα με τον παράγοντα μεγέθυνσης
- παράγων μεγέθυνσης $\times 1.5 - \times 2.0$
- ενεργός διακριτική ικανότητα περιγράφει τη μεγέθυνση μιας λεπτομέρειας συσχετισμένη προς την ασάφεια

$$\text{Magnification} = \frac{\text{SID}}{\text{SOD}} = 1.85 \times$$

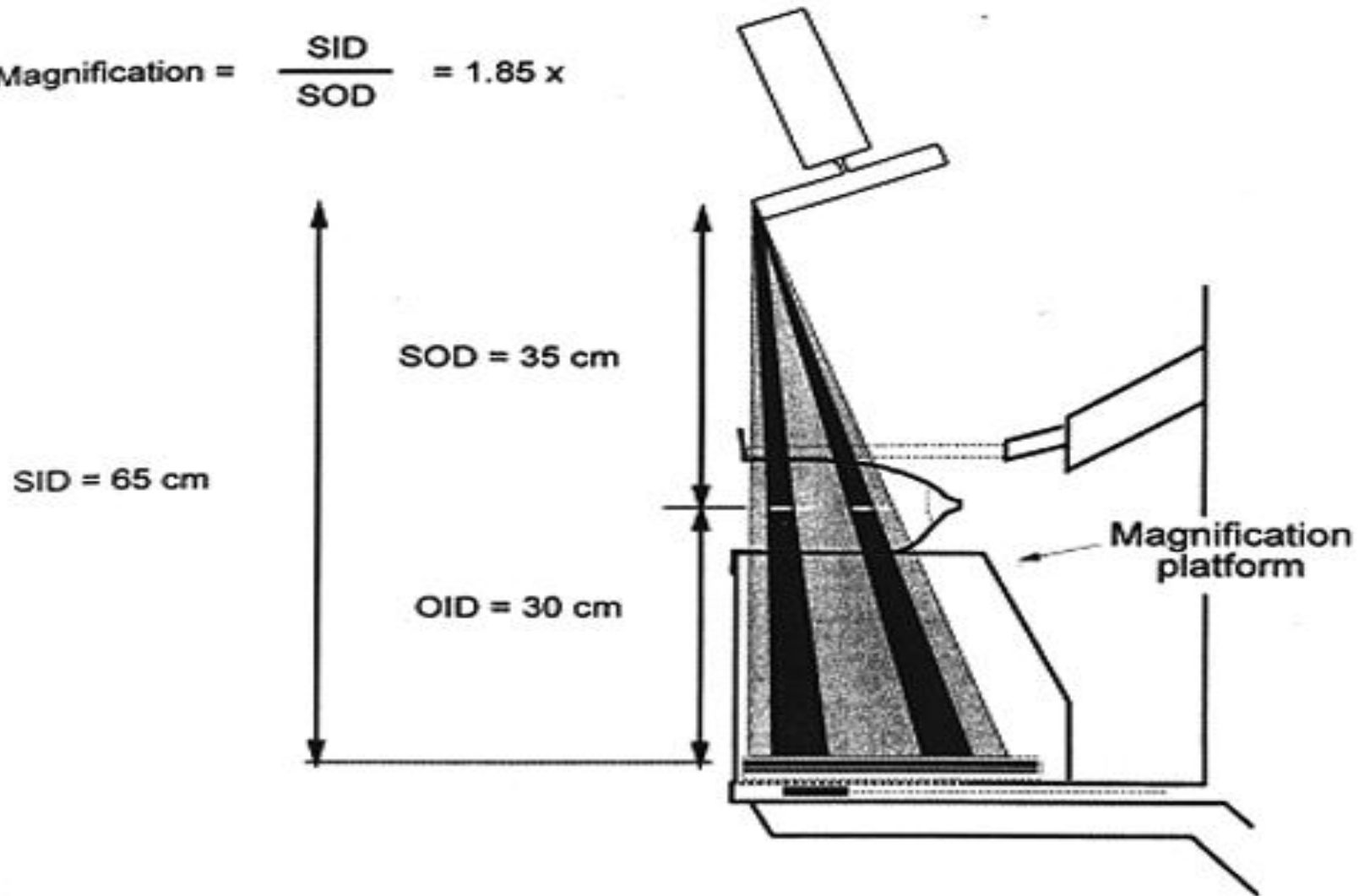


Figure 9.10. Magnification is accomplished with the use of a magnification platform, providing $1.5\times$ to $2.0\times$ enlargement factor. Geometric blurring is the limiting aspect of resolution rather than the film/screen. Best resolution and detail in the image is found toward the nipple. There is greater blurring on the cathode side (chest wall) because of the larger effective focal spot size.

ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ

- Πίεστρα



<http://www.americanmammographics.com/mammopads.htm>

ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ

- Μείωση του ενεργού θορύβου, περισσότερα φωτόνια ανά περιοχή
- Προβολικό κενό μεταξύ μαστού και ανιχνευτή μειώνει την ακτινοβολία σκέδασης χωρίς απορρόφηση πρωτογενών φωτονίων
- Μικρή εστία = 0.1 - 0.15mm (χαμηλά mA, μεγάλος χρόνος έκθεσης)
- Αύξηση δόσης (x2-x3)

ΕΣΤΙΑ ΑΝΟΔΟΥ & ΕΠ-ΦΙΛΜ ΜΤΦ

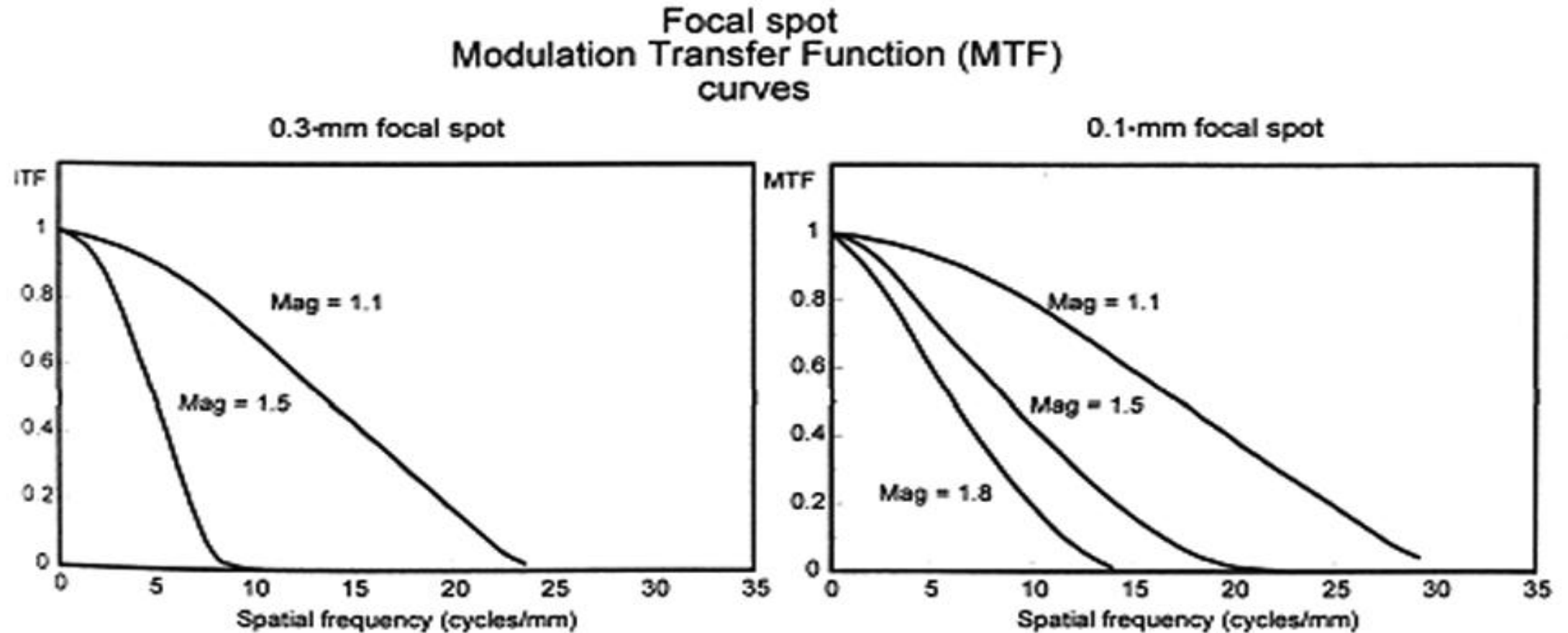


Figure 9.11. Modulation transfer function (MTF) curves for 0.3- and 0.1-mm focal spots at various magnifications. The need for a 0.1-mm focal spot in magnification work is evident.

ΔΟΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

- Όρια δόσεων (FDA)
 - 3 mGy (με ΑΔ)
 - Μέση δόση
 - Μια λήψη
 - 4.5cm με συμπίεση
 - Μέση σύσταση

ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

- Τεχνολογίες
 - Άμεση ανίχνευση- Direct detectors
 - Έμμεση ανίχνευση - Indirect detectors
 - Ψηφιοποιημένη μαστογραφία (CR)
 - Slit scanning technology
- Χαρακτηριστικά ψηφιακής εικόνας
 - MTF
 - DQE
 - Dynamic range

Τεχνολογίες ψηφιακής μαστογραφίας

“ΕΜΜΕΣΟΙ” ανιχνευτές

- Φωσφόροι κρύσταλλοι (CsI στήλες) επάνω σε διάταξη φωτοδιόδων άμορφης σιλικόνης με χρήση thin-film transistor (TFT) (GE)
 - ~100 micron pixels, ~5 lp/mm

“ΑΜΕΣΟΙ” ανιχνευτές

- Άμορφο σελήνιο (άμεση μετατροπή)
 - (TFT) flat panel technology (Siemens, Hologic, Giotto, Planmed)
 - ~70-85 micron pixels , ~7 lp/mm
 - Direct optical switching technology (Fuji Aspire HD))
 - ~50 micron pixels , ~10 lp/mm

Ψηφιοποιημένη ακτινογραφία (Fuji, Carestream, Agfa and Konica)

- ~50 micron pixels, ~10 lp/mm

Slit scanning technology (Philips)

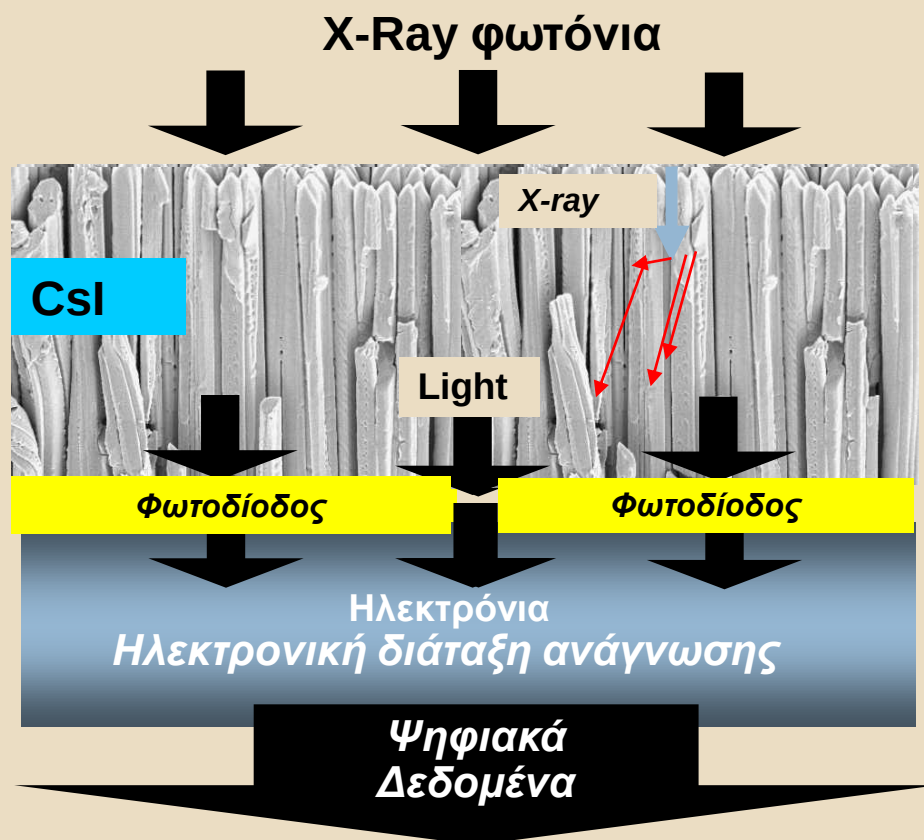
- ~50 micron pixels, ~10 lp/mm

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥ PIXEL

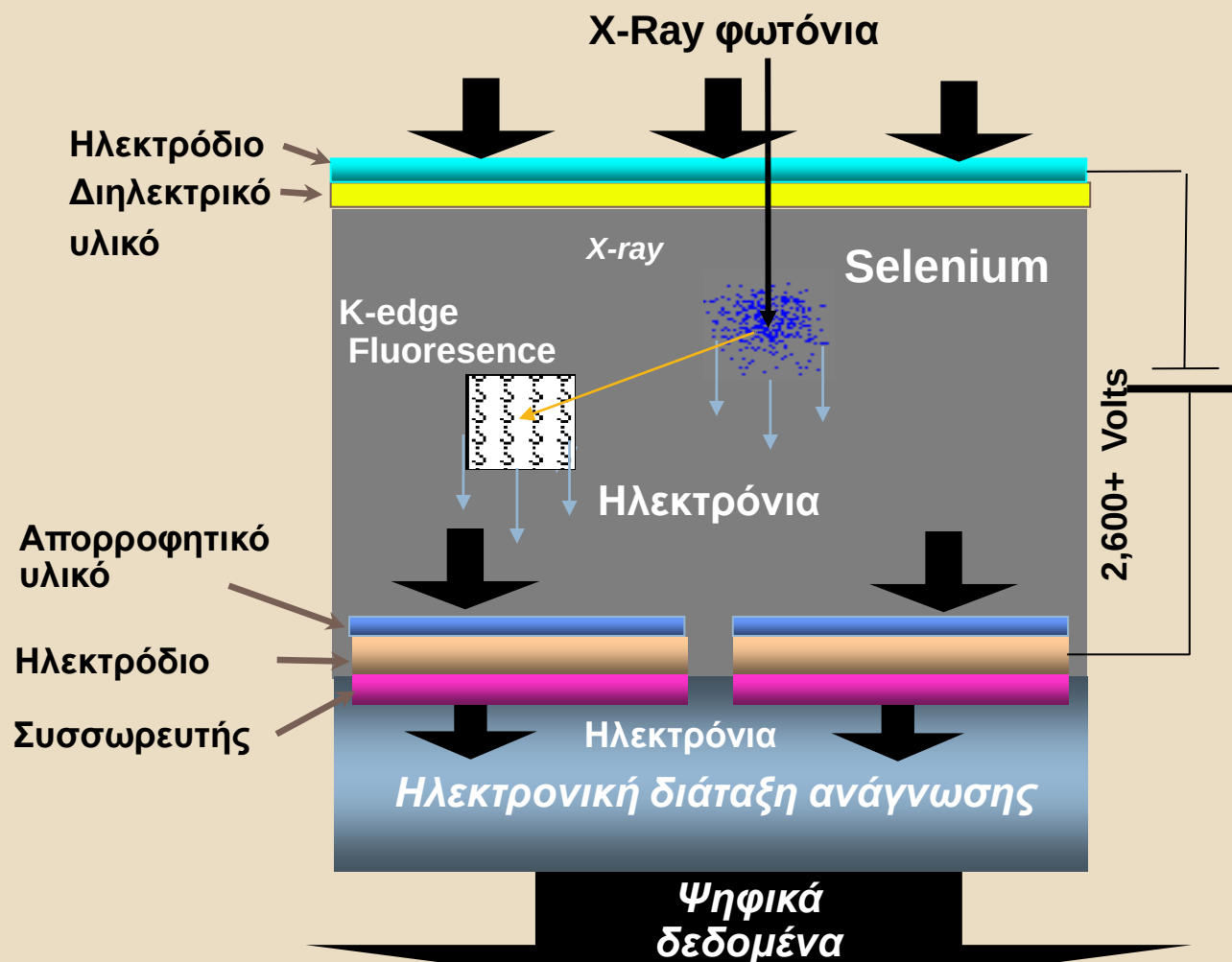
- Όταν μειώνεται το μέγεθος του pixel
 - Βελτιώνεται η χωρική διακριτική ικανότητα
 - Αυξάνεται ο θόρυβος
 - Μειώνεται ο λόγος σήματος/θόρυβο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ - FFDM

“Έμμεση” μετατροπή:
CsI μετατροπή + aSi υπόστρωμα καταγραφής



“Άμεση” μετατροπή:
aSe μετατροπή + aSi υπόστρωμα καταγραφής



ΔΟΜΗ ΤΟΥ ANIXNEYTH CSI

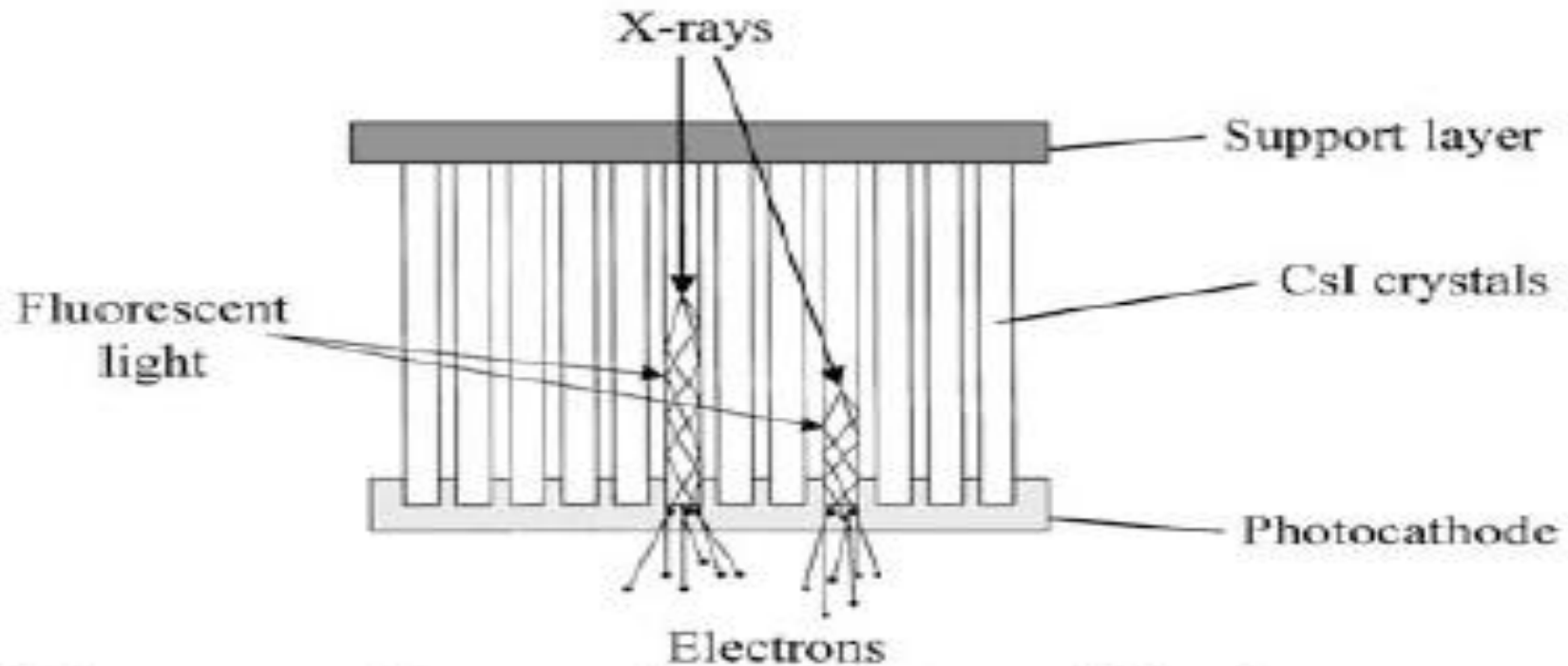
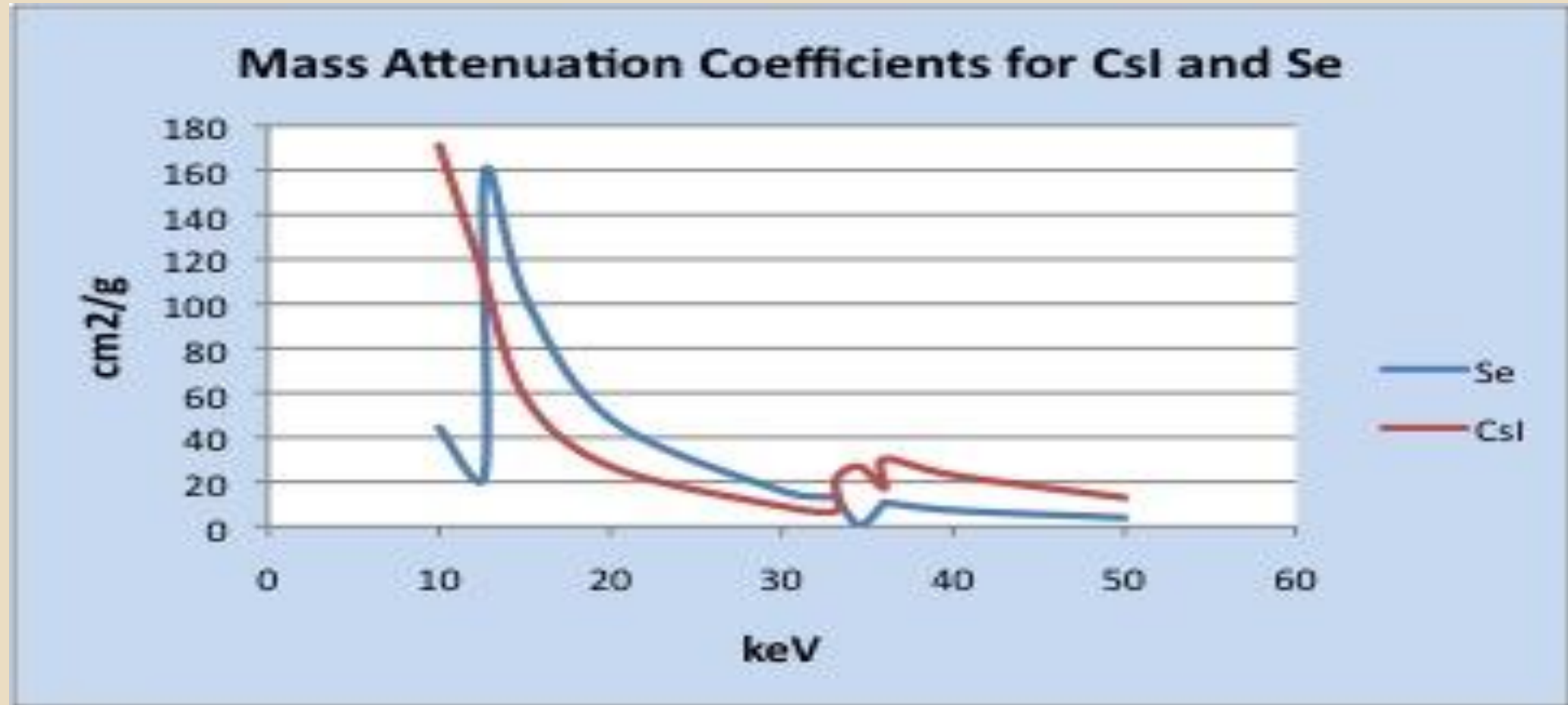


Figure 3. Cross-sectional diagram of the input screen shows the CsI:Na crystal needles, which serve as the optical guide to the photons, preventing scattering of light photons across the needles and thus improving spatial resolution.

ATTENUATION CURVES: A-SE AND CSI



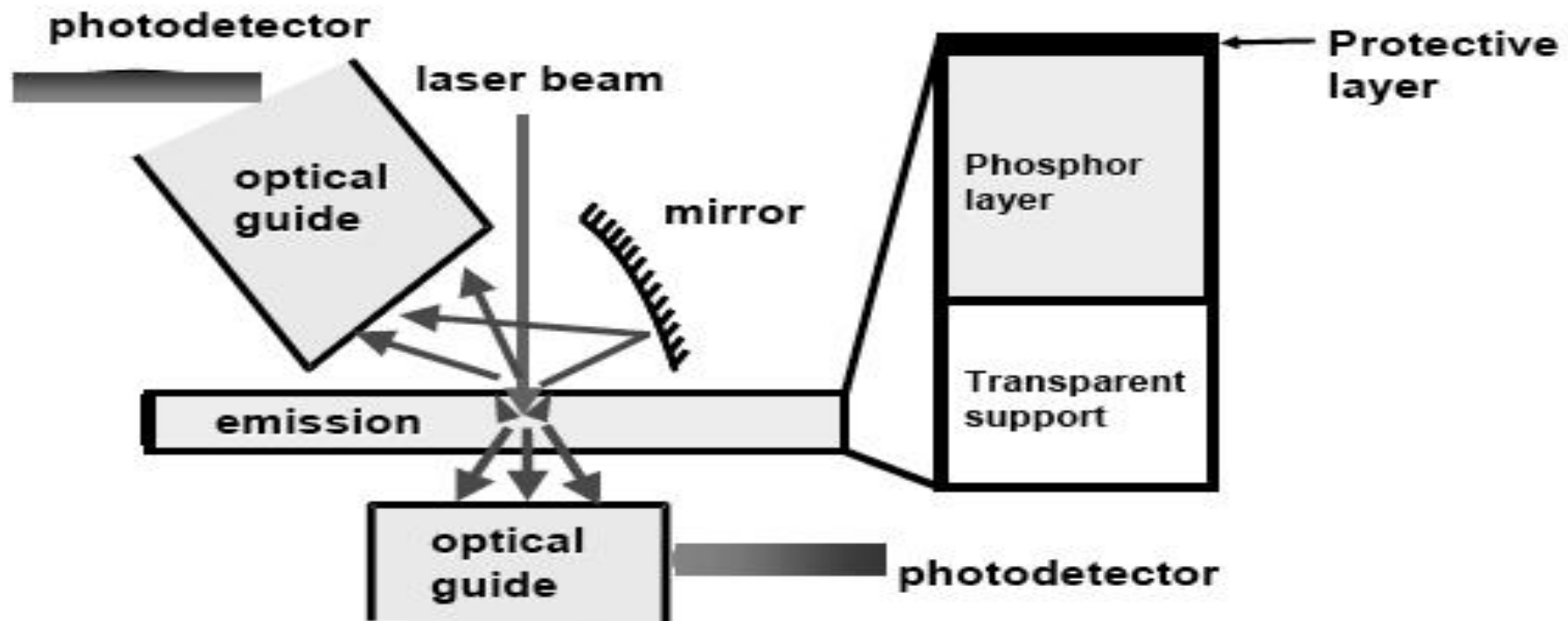
ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΑ (CR)

FUJI CR DIGITAL MAMMOGRAPHY

- ClearView-CSM
- Η ψηφιακή πινακίδα διαβάζεται και από τις δύο πλευρές
- ~50 micron διακριτική ικανότητα
- ~10 lp/mm
- Χαμηλό κόστος
- Μονάδες μαστογραφίας CR = Carestream, Agfa and Konica



Fuji - Dual Side Readout



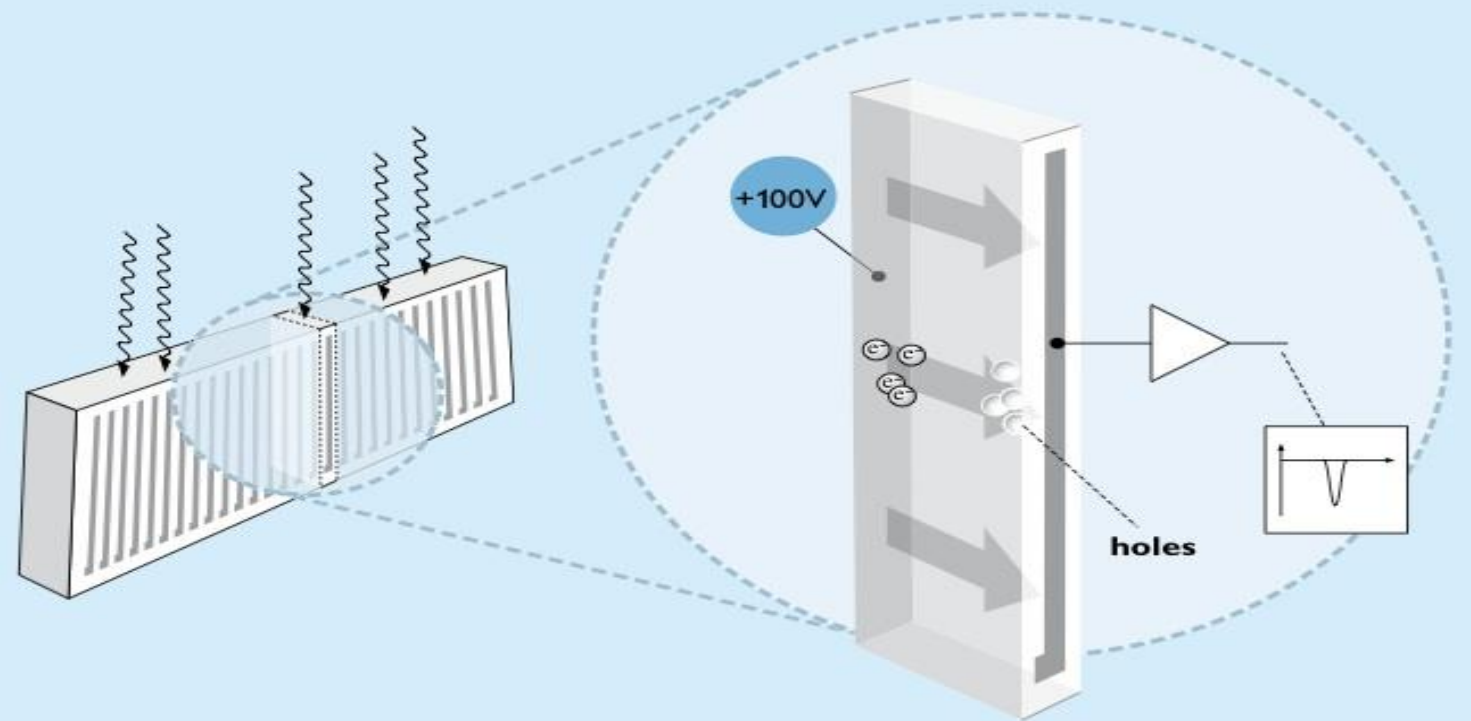
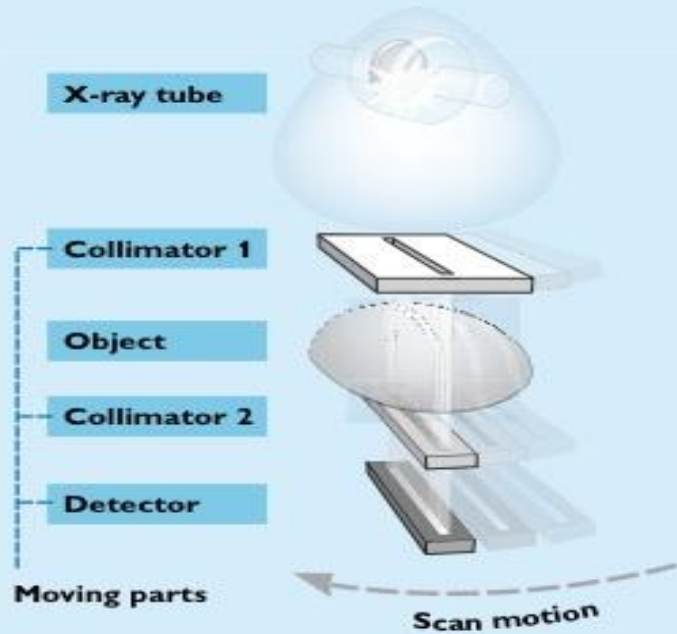
SLIT SCANNING TECHNOLOGY

- Philips MicroDose
- Λίγα μηχανήματα 284 Μαρτιος 2012

PHILIPS MICRODOSE

- Σάρωση με σχισμοειδή δέσμη
- Προ & μετά διαφράγματα βάρθους
- Καταμέτρηση φωτονίων
- 50 μικρά
- Ζωνοειδής ανιχνευτής (σφηνοειδές σχήμα προς την εστία)
- Μέση δόση ~50% των λοιπών συστημάτων

SLIT SCANNING TECHNOLOGY



- **Slit Scanning Technology (multi-slit)**

- **X-ray generates electron-hole pairs creating a short electrical signal**

http://incenter.medical.philips.com/doclib/enc/fetch/2000/4504/577242/577260/593280/593431/8477093/Photon_Counting_White_Paper.pdf%3fnodeid%3d8477094%26vernum%3d1

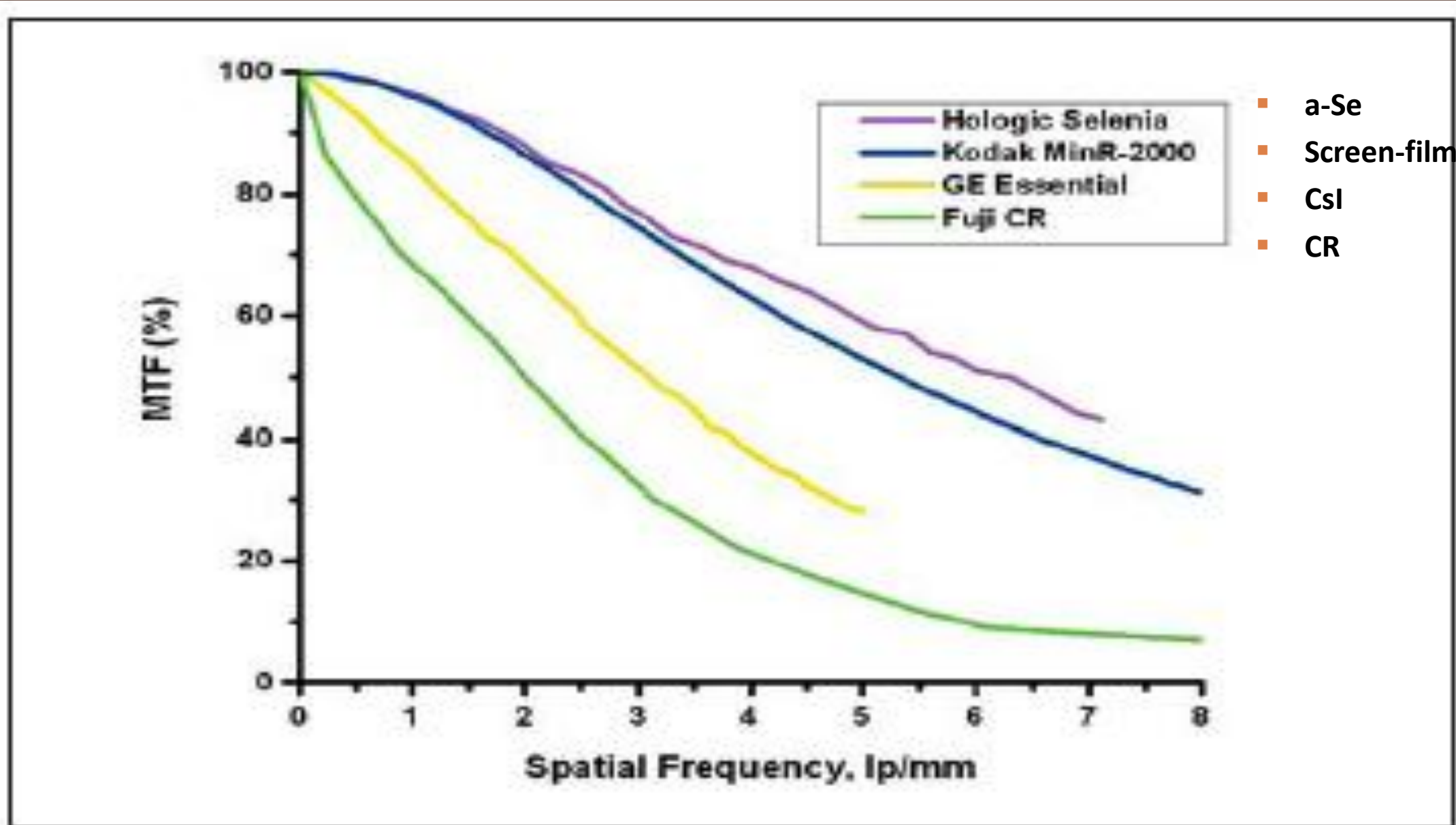
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ FFDM

- MTF
- DQE
- Dynamic Range

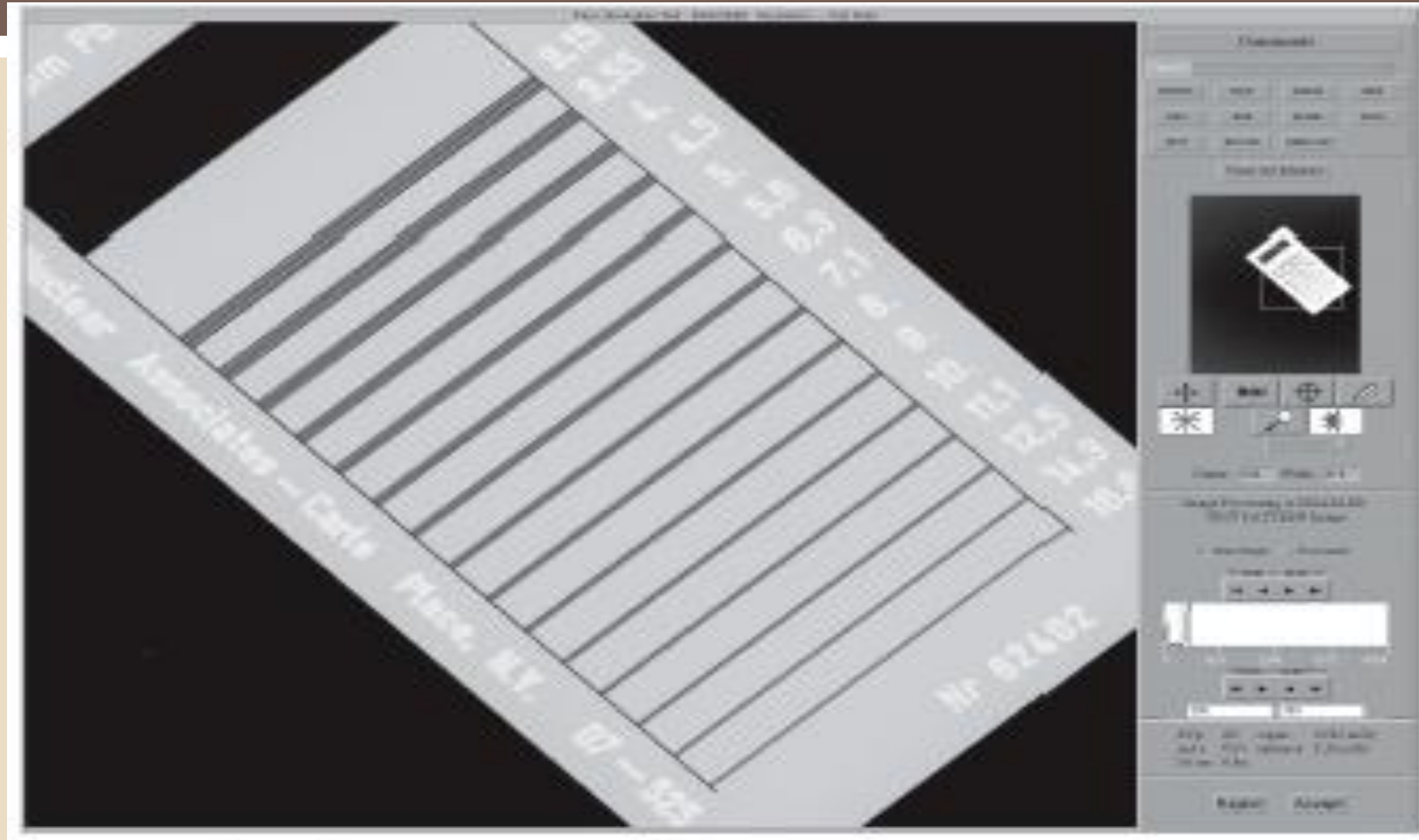
MODULATION TRANSFER FUNCTION (MTF)

- Προδιορίζει τη δυνατότητα του ανιχνευτή να μεταφέρει με ακρίβεια τις διακυμάνσεις στην κατανομή της εισερχόμενης ακτινοβολίας στις διακυμάνσεις του εξερχομένου σήματος και κατ' επέκταση στην εικόνα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ MTF



ΟΜΟΙΩΜΑ ΟΡΙΑΚΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ



DETECTIVE QUANTUM EFFICIENCY (DQE)

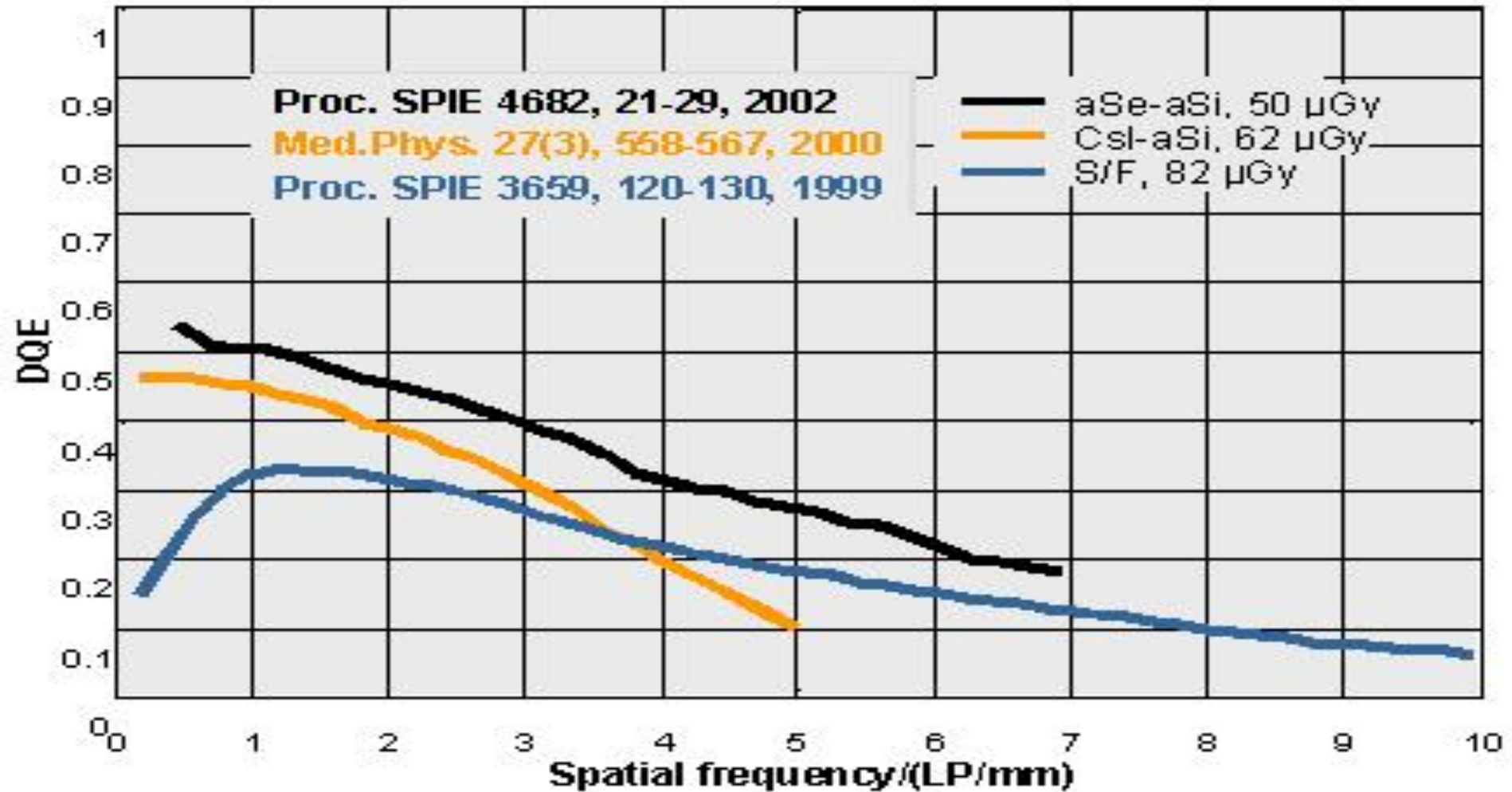
DQE =

$$\frac{\text{SNR (signal-to-noise ratio) στην έξοδο του ανιχνευτή}}{\text{SNR στην είσοδο του ανιχνευτή}}$$

Ο συντελεστής που καθορίζει την ποιότητα των FFMD

DQE

a-Se exploits X-ray energy best: Higher DQE leads to better image quality



DQE

- Εξαρτάται από:
 - Χωρική διακριτική ικανότητα (I_p/mm)
 - kVp
 - Εστία
 - Ηθμοί
 - Ομοίωμα ελέγχου
 - Έκθεση!!!!

DQE ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΈΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΑΣ -CR

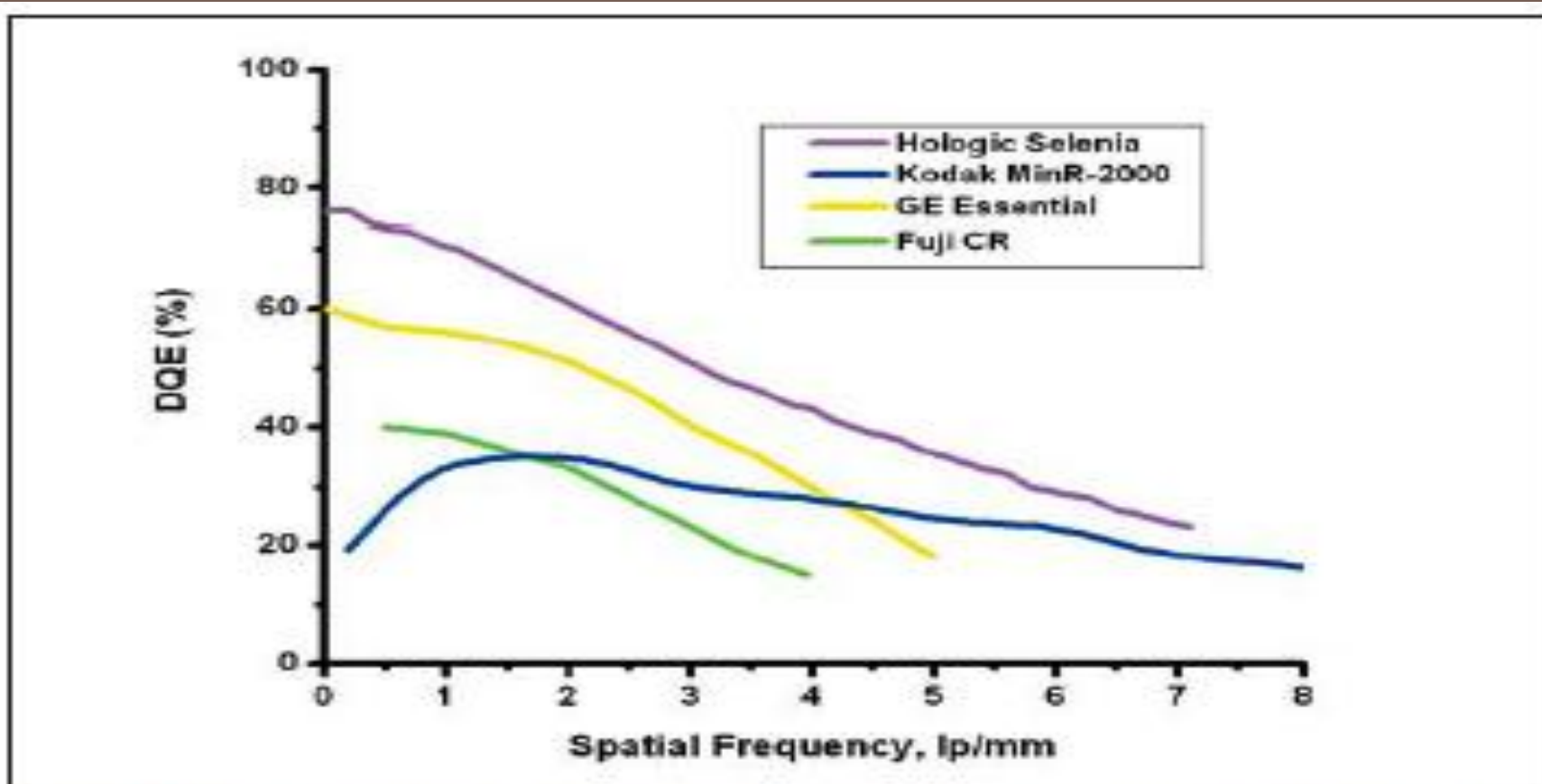
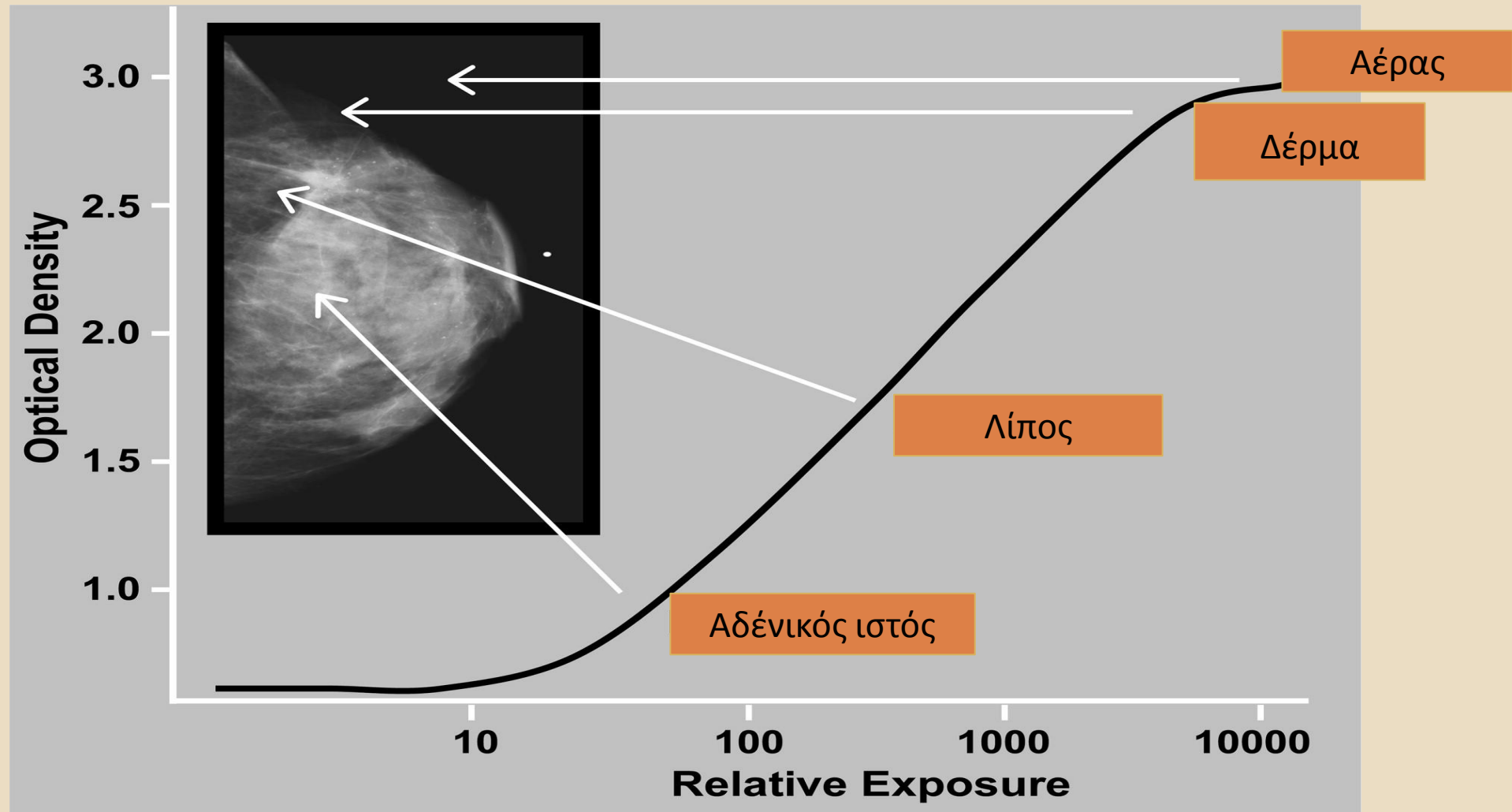


Figure 3. Dose efficiency as shown by the Detective Quantum Efficiency for Fuji CR, compared to screen-film (Kodak), cesium iodide (GE), and selenium detectors (Hologic)

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΥΡΟΣ - DYNAMIC RANGE

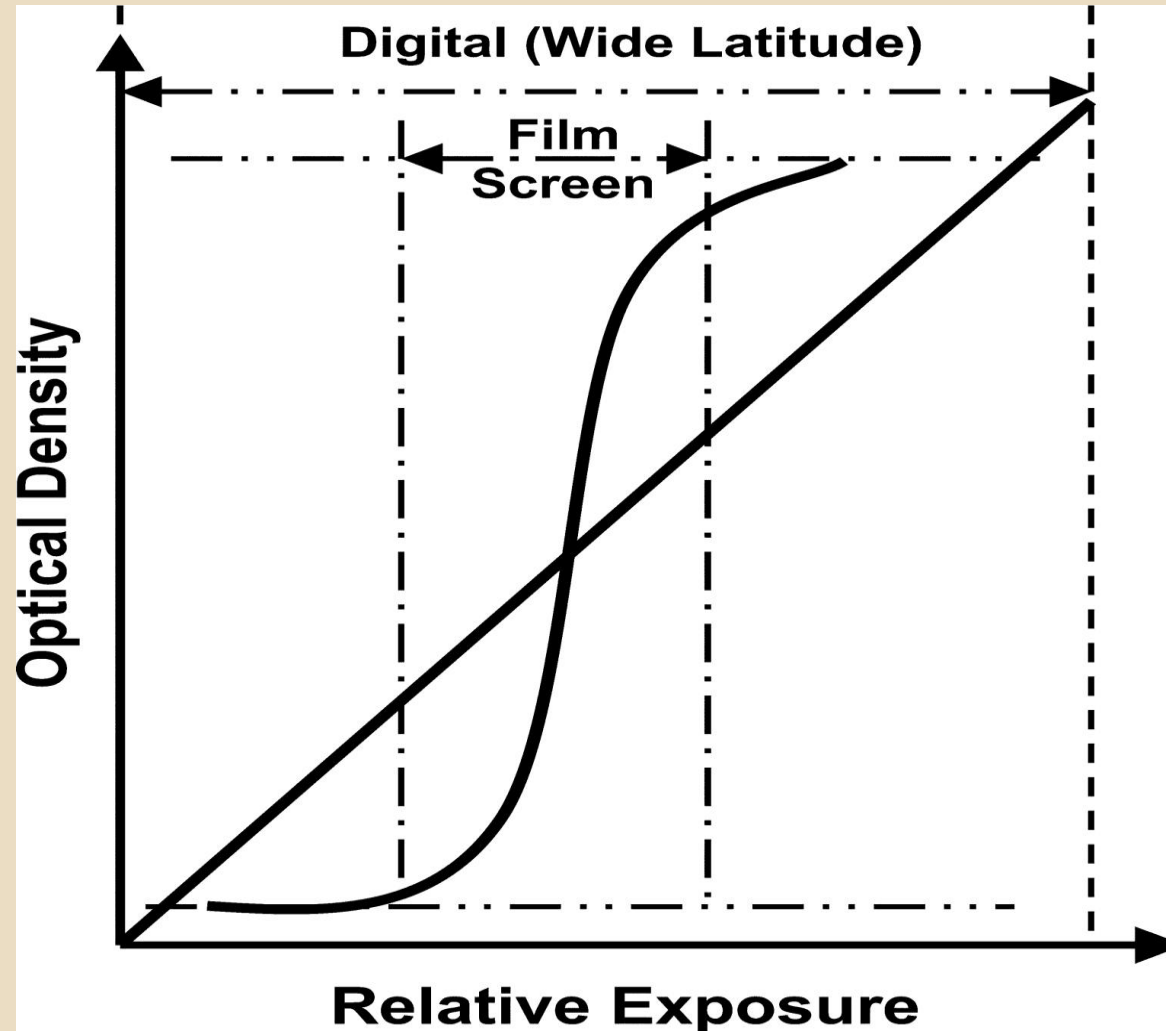
Περιορισμοί της μαστογραφίας (ΕΠ- φιλμ) λόγω των απεικονιζόμενων ιστών



Mahesh M Radiographics 2004;24:1747-1760

RadioGraphics

Η χαρακτηριστική καμπύλη της μαστογραφίας ΕΠ-φιλμ & της ψηφιακής



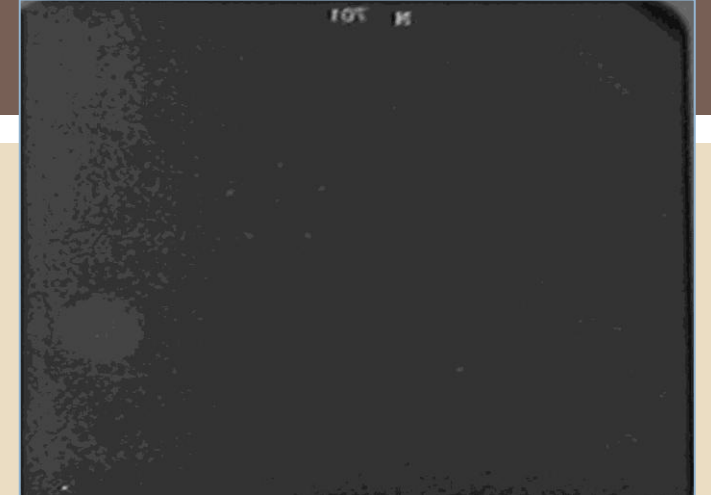
Παρατηρείστε τη
διαφορά στο
εύρος έκθεσης
(latitude)

Mahesh M Radiographics 2004;24:1747-1760

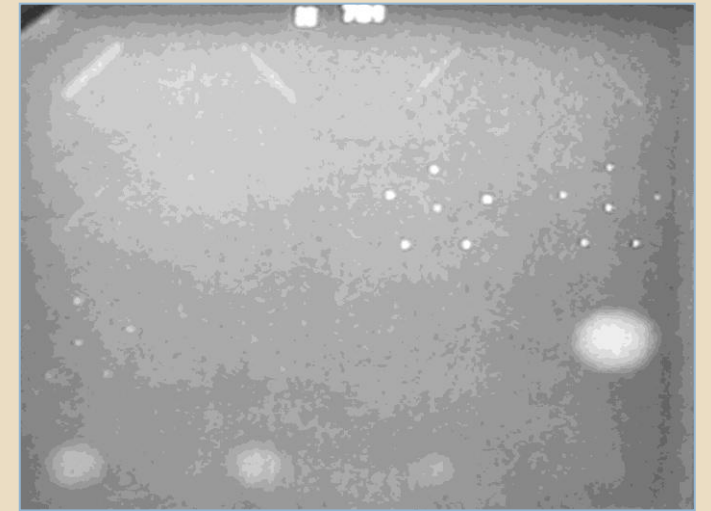
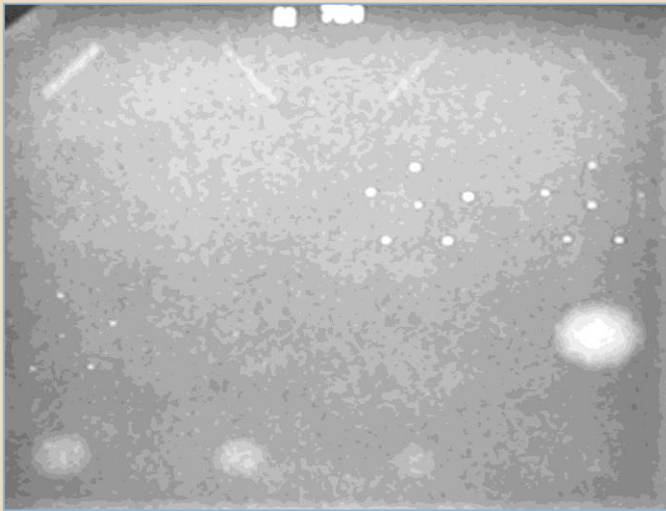
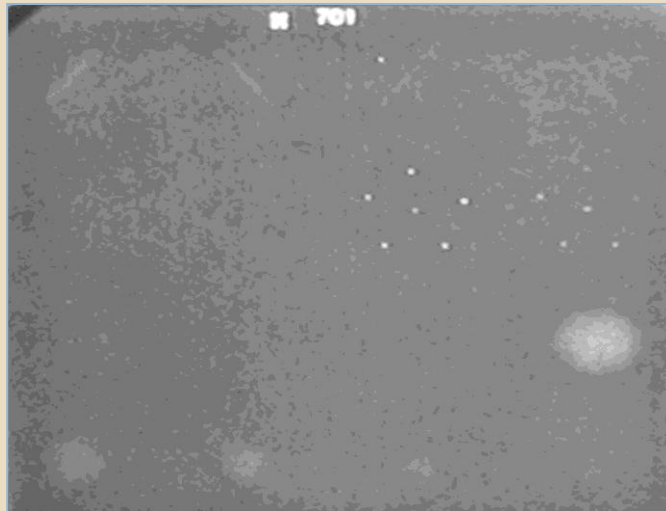
RadioGraphics

ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

S/F



FFDM



~50mAs

~100mAs

~200mAs

ΔΟΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ FFDM

- Τα συστήματα δείχνουν τη δόση ακτινοβολίας πάνω στην εικόνα
 - Μέση δόση αδένα $< 300\text{mGy}$
 - Αναφέρεται στις DICOM πληροφορίες της εικόνας
 - Δόση εισόδου και/η μέση δόση αδένα
 - Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν διαφορετικούς αλγορίθμους υπολογισμού
 - Dance
 - Wu & Barnes
 - U.S. Method

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΜΟΣΥΝΘΕΣΗ DIGITAL BREAST TOMOSYNTHESIS (DBT)

BREAST TOMOSYNTHESIS

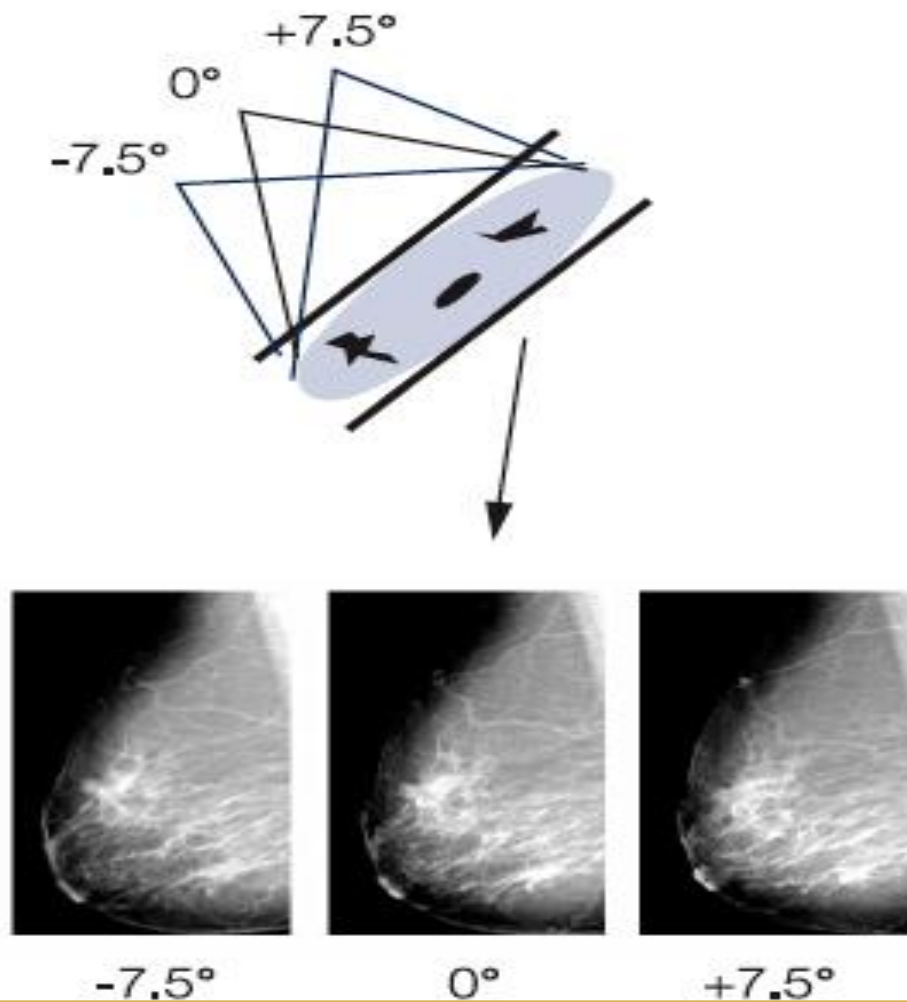
Figure 3: Tube Head Swings Taking Multiple Exposures in a Few Seconds



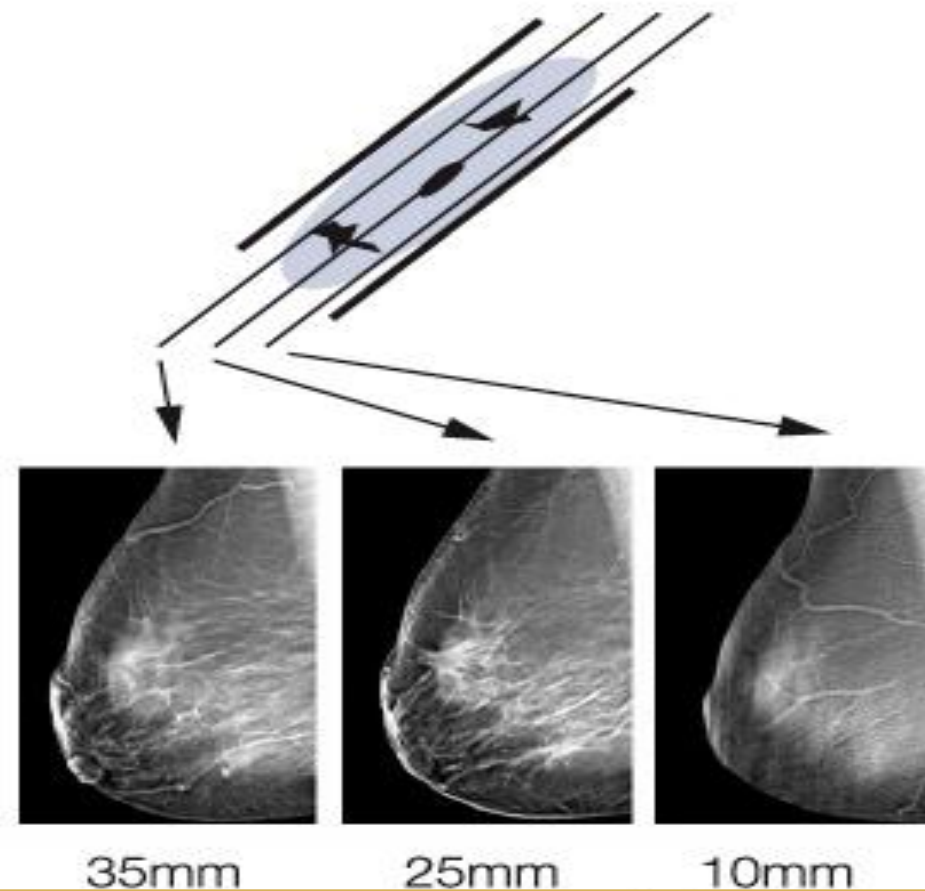
Tomosynthesis acquisition geometry showing the motion of the x-ray source.

Λήψη πολλαπλών εικόνων από διαφορετικές γωνίες & ανασύνθεση σε τομές

Εικόνες από γωνίες

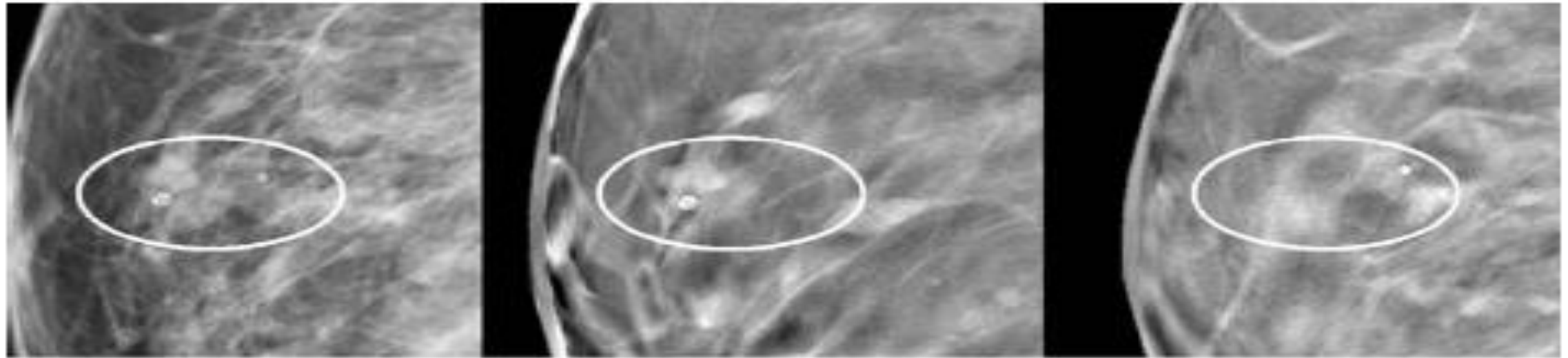


Ανασύνθεση τομών



3 από τις 15 διαφορετικές προβολές & 3 από τις ανακατασκευασμένες τομές 1χιλ.

ΤΟΜΟΣΥΝΘΕΣΗ



Digital
mammogram

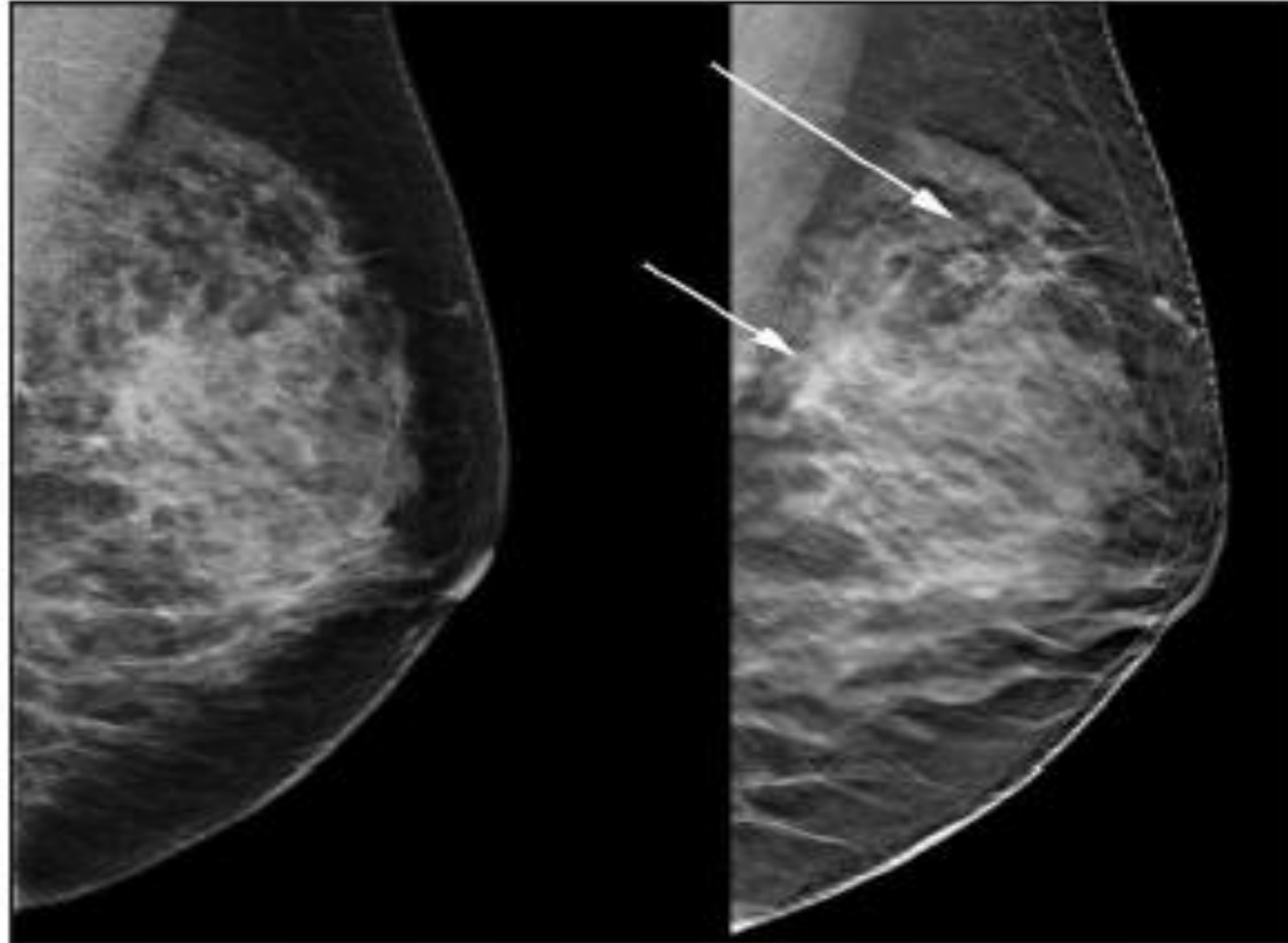
Tomosynthesis
slice @ 30 mm

Tomosynthesis
slice @ 47 mm

Figure 6. The 3D Nature of Tomosynthesis is shown above. The digital mammogram on the left shows 1 calcification. Slices from the tomosynthesis reconstructions, shown in the 2 right images, show that one calcification is at 30 mm height in the breast, and another at 47 mm.

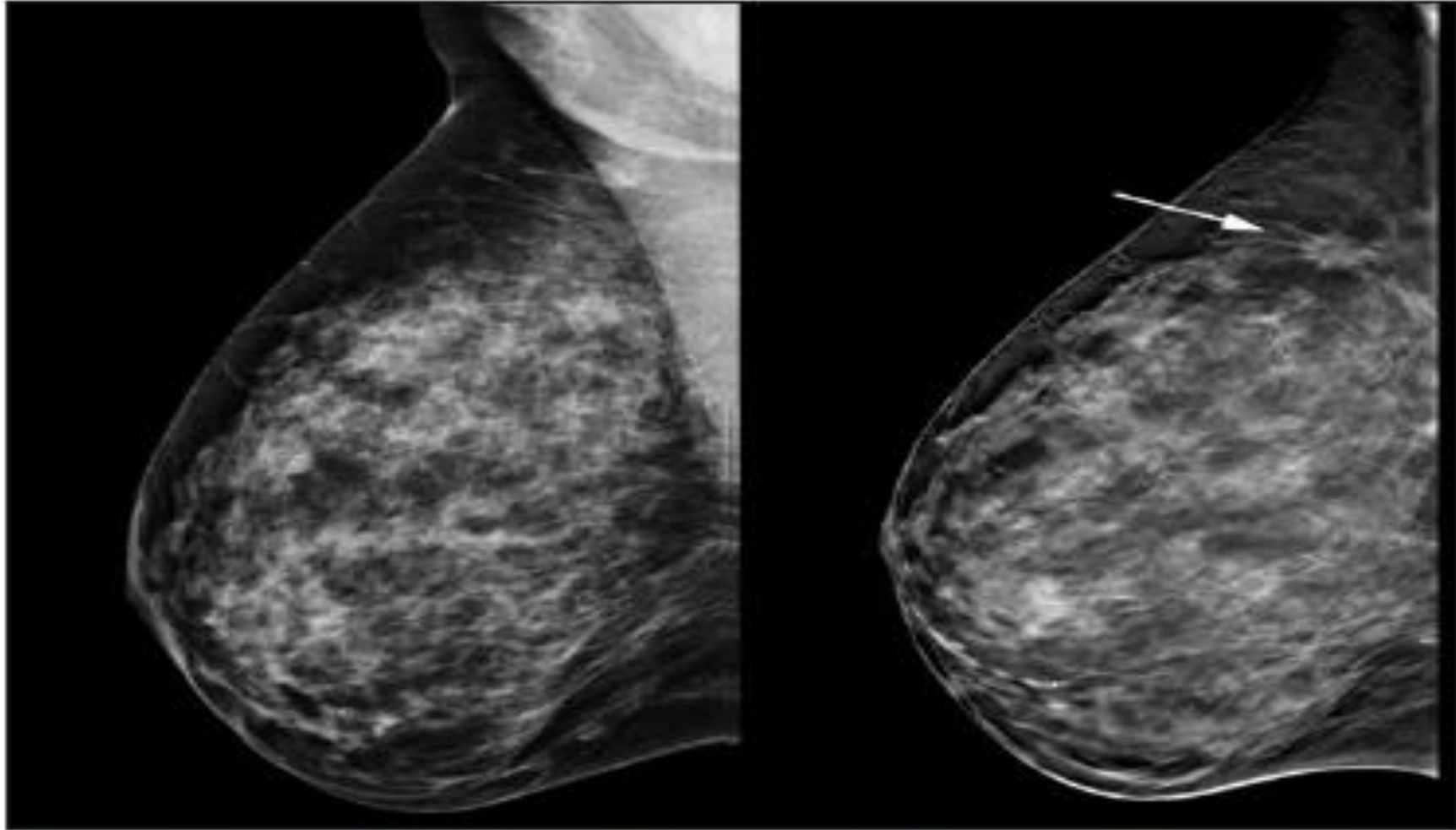
Παρατηρείστε πόσο καθαρότερα φαίνονται οι αποτιτανώσεις στις τομές

ΤΟΜΟΣΥΝΘΕΣΗ



Infiltrating lobular carcinoma and multifocality not seen well in the conventional digital mammogram (left image) are clearer in the slice from the tomosynthesis data set (right image)

ΤΟΜΟΣΥΝΘΕΣΗ



Mammographically occult cancers (left image) is visible with tomosynthesis (right image)

ΔΩΕ ΤΟΜΟΣΥΝΘΕΣΗ

- Η μέση δόση στο μαστό αναμένεται να είναι περίπου η ίδια την ψηφιακή μαστογραφία ($< 300 \text{ mRad}$)
- Απαιτεί περίπου 15 - 50 εκθέσεις επομένως χρειάζεται ιδιαίτερα καλή απόδοση του συστήματος σε χαμηλή έκθεση
- Δεν χρησιμοποιείται ΑΔ γεγονός που μειώνει τη δόση ($x2 - x3$)

HOLOGIC DBT DOSE

- 2D: 1.2 mGy
- 3D Tomo: 1.45 mGy
- Combo*: 2.65 mGy

*Combo: 2D and 3D tomo of the same breast view
(e.g. MLO)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ©NCRP 2006

NCRP Report 149, "A Guide to Mammography and Other Breast Imaging Procedures" National Council on Radiation Protection and Measurements, 2004

- ©1994 Williams & Wilkins

Bushberg, JT, Seibert, JA, Leidholdt, EM Jr., Boone, JM, "The Essential Physics of Medical Imaging" Williams & Wilkins, Baltimore, Maryland, 1994

- ©1993 RSNA

Haus, AG, Yaffe, MJ, Eds., "Syllabus: A Categorical Course in Physics *Technical Aspects of Breast Imaging*", 2nd Edition, RSNA, 1993

- ©1992 RSNA

Haus, AG, Yaffe, MJ, Eds., "Syllabus: A Categorical Course in Physics *Technical Aspects of Breast Imaging*", RSNA, 1992

- ©1987 IOP Publishing

Johns, PC, Yaffe, MJ, "X-Ray characterisation 675-695 of normal and neoplastic breast tissues", Phys Med Biol, 1987, 32,

CHARACTERISTICS: HOLOGIC DBT BREAST TOMO

- FDA (ΗΠΑ)
 - Πρόληψη
 - Διάγνωση
 - Βιοψία

HOLOGIC DBT

- Φίλτρα
 - Rh: 2D
 - Ag: 2D
 - Al: 3D tomo
- Έλεγχος πυκνότητας
 - Όχι
- Χωρίς ΑΔ στην tomo
- Χωρίς MAG στην tomo

HOLOGIC DBT

- Χωρική διακριτική ικανότητα
 - > 3 lp/mm (45 degrees)
- Ομοίωμα (προδιαγραφές)
 - 4 fibers
 - 3 speck groups
 - 3 masses
 - Can scroll up/down through 3D stack is assessing phantom scores

HOLOGIC DBT

- Pixel binning
 - 3D tomo, τα pixels “ενώνονται” σε ομάδες 2x2 (140 micron pitch)
- 3D tomo πεδίο ακτινοβολήσης
 - 18 x 29 cm
- Ανασύνθεση
 - 1 mm thick
 - Αριθμός τομών (πάχος πιεσμένου μαστού / 1mm => 40 – 80)
- Ανάγνωση
 - 1mm τομές
 - 15 προβολές (ανίχνευση κίνησης)

HOLOGIC DBT

- 2D: μια FFDM εικόνα (cc, MLO)
- 3D Tomo mode: 15 εικόνες σε διαδρομή 15 μοιρών με ανασύνθεση τομών 1χιλ.
- Combo mode: για μία προβολή (πχ.MLO), λήψη τυπικής εικόνας και τομών (< 3 mGy)
- Λήψη τομών σε οποιαδήποτε προβολή

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ: HOLOGIC DBT

- Αυτόματη τοποθέτηση του ΑΕΕ
- Μετρά την ένταση σε 2 κυψέλες από διάταξη 70 (5 x 14 με μέγεθος 1 sq.cm.)

■ Κλινικές μελέτες

- 2D vs. 3D vs. Combo
- 3D και 3D Combo αυξάνουν την ευαισθησία
- 3D και 3D Combo μειώνουν τό ποσοστό συμπληρωματικού ελέγχου

■ 3D Combo > 3D Tomo > 2D