

## ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΣΕ ΑΞΟΝΙΚΟΥΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥΣ (CT) ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ - ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ CT ΘΑΛΑΜΩΝ ΙΟΝΙΣΜΟΥ.

ΧΟΥΡΔΑΚΗΣ Κ.Ι., ΜΠΟΖΙΑΡΗ Α., ΚΟΥΜΠΟΥΛΗ Ε.

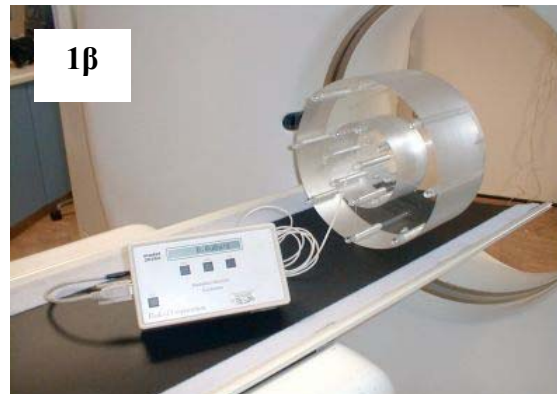
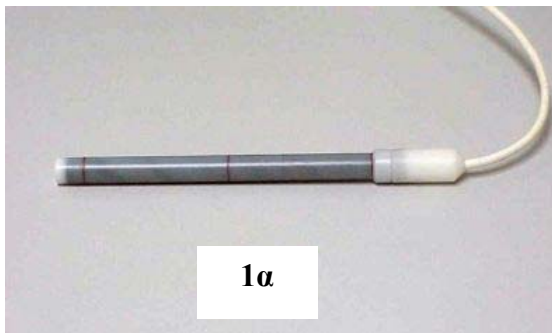
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ  
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
Τ.Θ. 60092, 15310 ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΤΤΙΚΗΣ.  
e-mail συγγραφέα : khour@eeae.gr

### *Εισαγωγή*

Το 95% της συλλογικής δόσης ακτινοβολίας του πληθυσμού οφείλεται στις ιατρικές εφαρμογές. Οι εξετάσεις αξονικής τομογραφίας συνεισφέρουν με το μεγαλύτερο ποσοστό στις δόσεις ακτινοβολίας ασθενών και εξεταζομένων. Η ενεργός δόση σε εξεταζομένους αξονικής τομογραφίας (effective dose, E, η οποία σχετίζεται με τη συνολική επίπτωση - βλάβη από την έκθεση σε ακτινοβολία) είναι συνήθως αρκετά mSv (π.χ. 20 – 40 mSv τυπικές τιμές), δεκάδες ή εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από ότι η ενεργός δόση από άλλες εξετάσεις διαγνωστικής ακτινολογίας (π.χ. 0.1 mSv από ακτινογραφία θώρακα).

Η δοσιμετρία των αξονικών τομογράφων είναι αναγκαία για τον έλεγχο και τη διασφάλιση της ακτινοπροστασίας του πληθυσμού.

Οι μετρήσεις δόσης γίνονται με ειδικούς θαλάμους ιονισμού τύπου μολυβιού, CT pensil type ionization chamber (εικόνα 1α), που συνήθως έχουν μήκος 100 mm και διάμετρο περίπου 10 mm. Ο θάλαμος συνδέεται με ηλεκτρόμετρο που καταγράφει το σήμα (ηλεκτρικό ρεύμα / φορτίο) που παράγεται. Στις μετρήσεις σε αξονικούς τομογράφους ο θάλαμος τοποθετείται παράλληλα με τον οβελιαίο (κύριο) άξονα του Gantry του αξονικού τομογράφου είτε ελεύθερος στον αέρα είτε μέσα σε ειδικό ομοίωμα (εικόνα 1β).

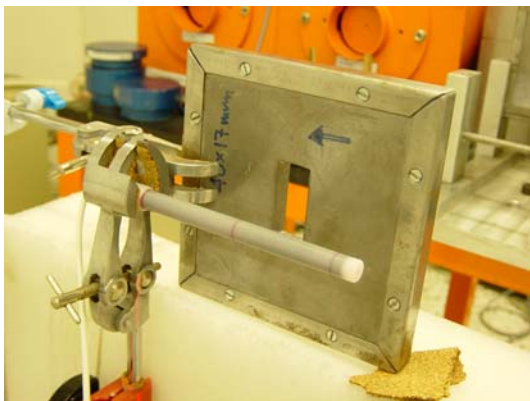


*Εικόνα 1α* : Θάλαμος ιονισμού τύπου μολυβιού CT.  
*1β* : Διάταξη θαλάμου – ηλεκτρομέτρου και ομοιώματος για μετρήσεις δόσης σε αξονικό τομογράφο. *1γ* : Διάταξη για μετρήσεις στον αέρα.

Ο αξονικός τομογράφος παράγει λεπτή δέσμη ακτινοβολίας (slice) με πάχος (εύρος) που κυμαίνεται – ανάλογα με το πρωτόκολλο εξέτασης – από 0,5 mm έως 40 mm (συνήθεις τιμές 5 mm και 10 mm). Η λεπτή δέσμη προσπίπτει κάθετα στον θάλαμο και ακτινοβολεί μέρος αυτού. Έτσι, το ραδιολογικό μέγεθος που μετράται είναι το Air Kerma Length Product,  $P_{KL}$  με μονάδες Gy·mm, που ουσιαστικά είναι το γινόμενο του air kerma (δόση στο αέρα) στο σημειακό κέντρο του θαλάμου επί το μήκος (διάσταση) του θαλάμου που ακτινοβολείται. Σημαντικό ρόλο στην διασφάλιση της ακρίβειας των μετρήσεων παίζει η διακρίβωση των συστημάτων και οργάνων δοσιμετρίας αξονικών τομογράφων. Το Εργαστήριο Βαθμονόμησης Οργάνων Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (Ε.Β.Ο.Ι.Α.) έχει αναπτύξει διαδικασίες διακρίβωσης και διαπιστευμένες κατά ISO 17925.

### Μέθοδος

Για τη διακρίβωση και βαθμονόμηση θαλάμων ιονισμού αξονικής τομογραφίας το ΕΒΟΙΑ έχει αναπτύξει διατάξεις και μεθόδους σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61267:2005, IEC 61674:1997 και IAEA TRS 457:2007, που ουσιαστικά προσομοιάζουν τις συνθήκες ακτινοβολήσης που εφαρμόζονται στους αξονικούς τομογράφους. Ένα διάφραγμα μπροστά από τον υπο-διακρίβωση θάλαμο παράγει πεδίο λεπτής δέσμης (εικόνα 2).



**Εικόνα 2 :** Συνθήκες ακτινοβολήσης για τη διακρίβωση θαλάμων CT. Το διάφραγμα μπροστά από το θάλαμο παράγει πεδία λεπτών δεσμών.

Οι ποιότητες δέσμης ακτίνων X που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοιες αυτών των αξονικών τομογράφων (Πίνακας 1). Η ιχνηλασιμότητα των προτύπων και των μετρήσεων είναι στο πρότυπο εργαστήριο δοσιμετρίας PTB, Γερμανία.

**Πίνακας 1 :** Οι ποιότητες δέσμης ακτίνων X για τη διακρίβωση θαλάμων CT

Ποιότητα Ακτινοβολίας	Υψηλή τάση, kV	HVL mm Al
RQR-T8	100	7.047
RQR-T9	120	8.412
RQR-T10	150	10.386

Οι διακριβώσεις και βαθμονομήσεις γίνονται με τη μέθοδο της αντικατάστασης. Πρώτα μετράται η «πραγματική» (conventional true) τιμή του  $P_{KL}$  : Με το δοσίμετρο αναφοράς μετράται το Air kerma,  $K_i$ , στο σημείο αναφοράς (κεντρική δέσμη x-ray σε απόσταση 1000 mm). Με μετρήσεις αποστάσεων (διάφραγμα – εστία ακτίνων X, διάφραγμα – θάλαμου, κλπ)

και διαστάσεων (πάχος και σχισμή διαφράγματος) μετράται το πεδίο ακτινοβολήσης,  $L$  στο επίπεδο του θαλάμου. Βάσει του ορισμού,  $P_{KL} = K_i \times L$

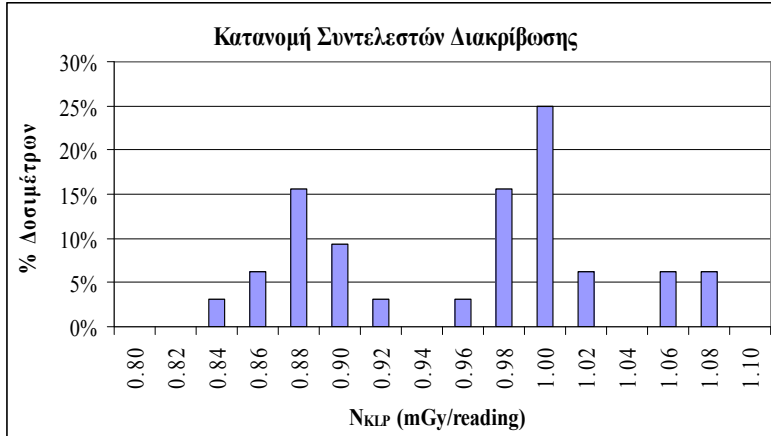
Ο συντελεστής διακρίβωσης ή βαθμονόμησης  $N_{KLP}$  προσδιορίζεται από το λόγο  $P_{KL}$  προς την ένδειξη του υπο-διακρίβωση δοσιμέτρου διορθωμένη για τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

$$N_{KLP} = \frac{P_{KL}}{M_{cor}^{test}} = \frac{K_i \cdot L}{M_{cor}^{test}} = \frac{M^{ref} \cdot k_{P,T}^{ref} \cdot N_{ROT9}^{ref} \cdot k_Q^{ref} \cdot k_s^{ref,rate} \cdot L}{M^{test} \cdot k_{P,T}^{test}}$$

Προφανώς, όταν  $N_{KLP} = 1$ , ο θάλαμος μετρά με ακρίβεια.

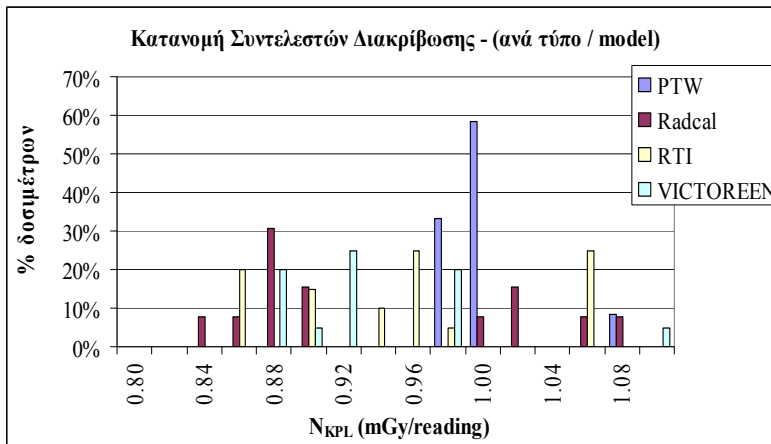
### Αποτελέσματα Διακρίβωσης Βαθμονόμησης

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως CT θάλαμοι των κατασκευαστικών οίκων PTW (Γερμανία), Radcal (USA), RTI (Σουηδία) και Victoreen (USA). Το ΕΒΟΙΑ έχει βαθμονομήσει την πλειονότητα των θαλάμων που χρησιμοποιούνται σε νοσοκομεία – κλινικές και ιατρικά κέντρα.



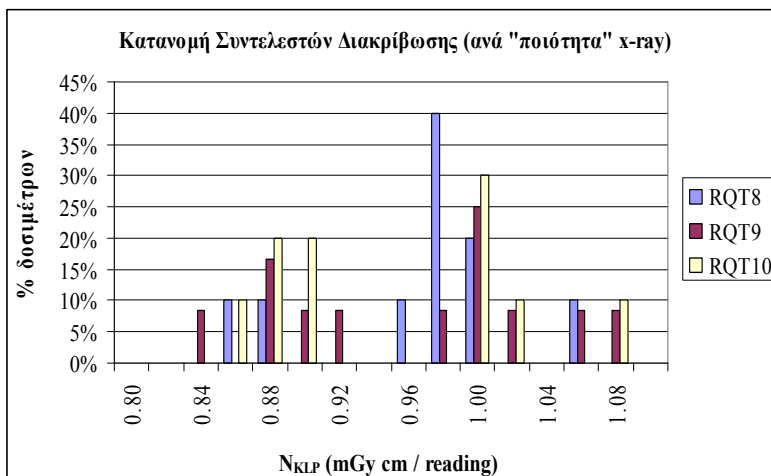
**Εικόνα 3α:**

Αποτελέσματα βαθμονόμησης των CT θαλάμων



**Εικόνα 3β:**

Αποτελέσματα βαθμονόμησης των CT θαλάμων ανάλογα με την εταιρεία κατασκευής.



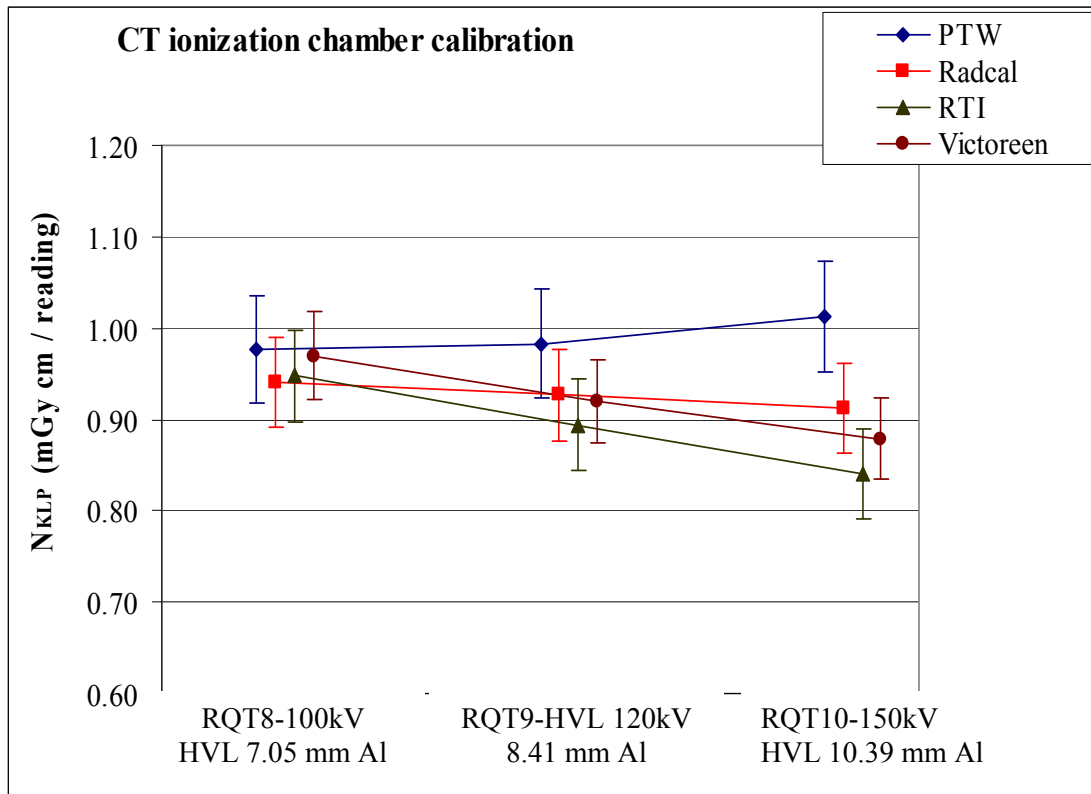
**Εικόνα 3γ:**

Αποτελέσματα βαθμονόμησης των CT θαλάμων ανάλογα με την ποιότητα δέσμης ακτίνων X.

Η αυξημένη κατανομή τιμών συντελεστών διακρίβωσης στην περιοχή των 0.88 mGy cm / reading (εύρος 0.84 – 0.92) οφείλεται στο γεγονός ότι τα αντίστοιχα δοσιμέτρα μετρούν στις παλιές μονάδες μέτρησης Roentgen (R) και στις παραγόμενες μονάδες (mR, R mm, κλπ). Η σχέση μεταξύ της παλαιάς (R) και της S.I. μονάδας του air kerma Gy είναι : 1 R = 8.76 mGy.

Οι συντελεστές διακρίβωσης και βαθμονόμησης μετατρέπουν τις ενδείξεις των δοσιμέτρων στις SI μονάδες, που βρίσκονται στην περιοχή 0.876 mGy cm / R mm - reading.

Η ενεργειακή εξάρτηση των CT θαλάμων φαίνεται στην εικόνα 4.



**Εικόνα 4** : Ενεργειακή εξάρτηση των CT θαλάμων. Κάθε σημείο αναπαριστά τη μέση τιμή των συντελεστών διακρίβωσης / βαθμονόμησης για το συγκεκριμένο τύπο θαλάμου και ποιότητα (ενέργεια) δέσμης ακτίνων X. Οι μπάρες αντιστοιχούν στο SD των τιμών.

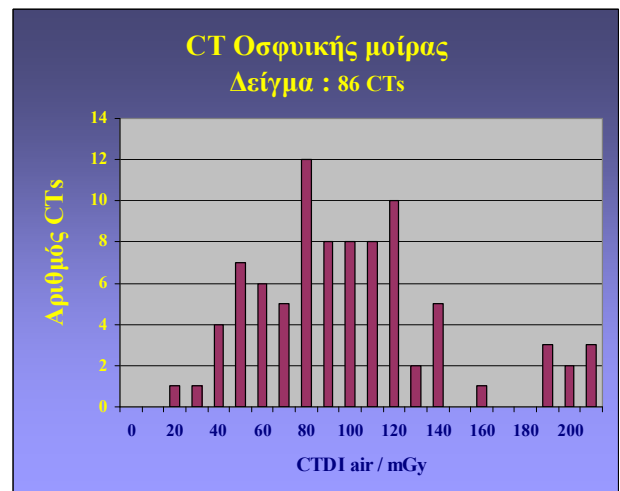
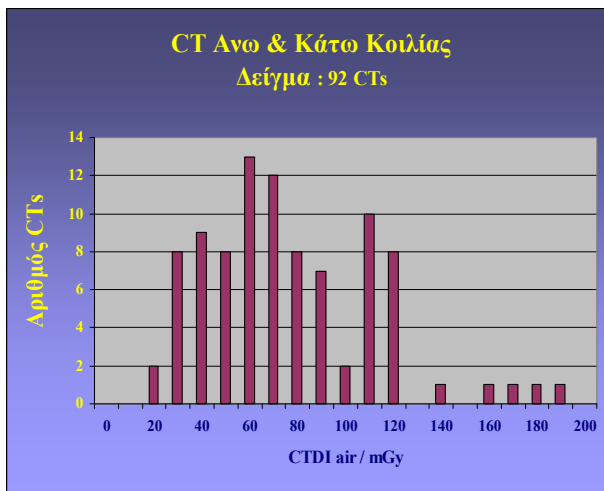
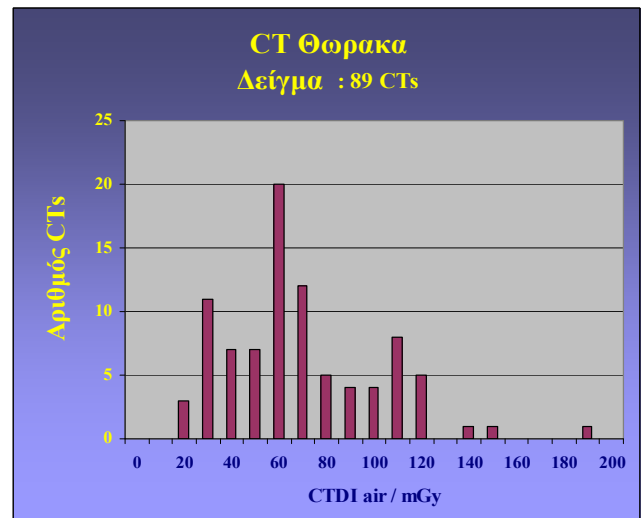
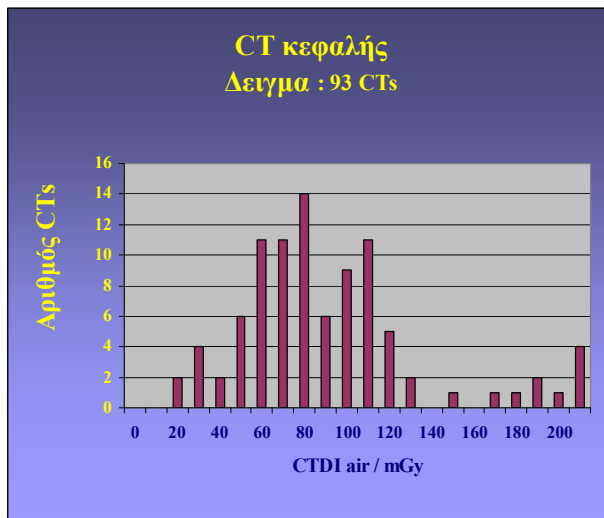
### Αποτελέσματα Μετρήσεων σε Αξονικούς τομογράφους

Η ΕΕΑΕ πραγματοποιεί μετρήσεις δόσεων σε αξονικούς τομογράφους εγκατεστημένους σε νοσοκομεία και κλινικές με βάσει τα παραπάνω πρότυπα δοσιμετρίας και μεθόδους διακρίβωσης. Το μετρούμενο μέγεθος Computed Tomography Dosimetry Index (CTDI ή  $C_{a,100}$ ) υπολογίζεται από τη σχέση

$$C_{a,100} = \frac{1}{N \cdot T} \cdot M \cdot N_{KLP} \cdot k_{P,T}$$

όπου N ο αριθμός τομών και T το πάχος της τομής ( $N \cdot T =$  πεδίο ακτινοβολήσης), M η ένδειξη του δοσιμέτρου,  $N_{KLP}$  ο συντελεστής διακρίβωσης, και  $k_{P,T}$  ο συντελεστής διόρθωσης πίεσης – θερμοκρασίας.

Η κατανομή των μετρούμενων δόσεων CTDI σε τέσσερις εξετάσεις αξονικής τομογραφίας παρουσιάζονται στην εικόνα 5.



**Εικόνα 5 :** Δόσεις από εξετάσεις αξονικής τομογραφίας. Σε κάθε μέτρηση εφαρμόζοταν το κλινικό πρωτόκολλο έκθεσης (kV, mA, mAs, πάχος τομής, μετακίνηση κρεβατιού, FOV κλπ) του κάθε εργαστηρίου.

### Αβεβαιότητες

Οι αβεβαιότητες υπολογίζονται βάσει του GUM και συνίστανται από τις αβεβαιότητες για τον καθορισμό της πραγματικής τιμής του  $P_{KL}$  και τις αβεβαιότητες των μετρήσεων με το υποδιακρίβωση όργανο (Πίνακας 2)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : Αβεβαιότητες Διακρίβωσης**

	Type A %	Type B %
<b>Μέτρηση Kair με working standard</b>		
Nk – συντελεστής διακρίβωσης		0.53
Σταθερότητα θαλάμου	0.50	NR
Electrometer ακρίβεια		0.00
Scale reading / resolution		0.03
Ομοιογένεια Xray δέσμης		0.58
Διαφορά X ray φάσμα Πρότυπου και EBOIA (HVL)		0.00
Θέση θαλάμου – τοποθέτηση		0.12
Θερμοκρασία & Πίεση	0.17	0.08
Διαφορά θερμοκρασίας στη θέση θαλάμου & θερμομέτρου		0.00
Υγρασία		0.00
Χρόνος ακτινοβολήσης		*
Ρεύμα διαρροής - Leakage current		0.00
Recombination loss		0.00
Επαναληψιμότητα μετρήσεων Kair	1.00	
<b>Μετρήσεις με θάλαμο χρήστη (user)</b>		
Θέση θαλάμου – τοποθέτηση		0.12
Ομοιογένεια Xray δέσμης		0.29
Θερμοκρασία & Πίεση	0.17	0.08
Διαφορά θερμοκρασίας στη θέση θαλάμου & θερμομέτρου		0.00
Ρεύμα διαρροής - Leakage current		0.00
Electrometer ακρίβεια	NR	NR
Scale reading / resolution οργάνου for USER instrument	*	0.06
Υγρασία		0.00
Recombination loss		0.00
Επαναληψιμότητα μετρήσεων	1.00	
<b>Πεδίο ακτινοβολήσης L</b>		
Μετατροπή R σε mGy		1.44
		0.00
QUADRATIC SUM	1.52	1.68
<b>COMBINED UNCERTAINTY</b>	<b>2.26</b>	<b>%</b>
<b>EXPANDED UNCERTAINTY (k=2)</b>	<b>4.53</b>	<b>%</b>

Την μεγαλύτερη συνεισφορά στη αβεβαιότητα έχουν ο συντελεστής διακρίβωσης του οργάνου αναφοράς του εργαστηρίου και ο καθορισμός των διαστάσεων του πεδίου ακτινοβολήσης.

### **Συμπεράσματα**

Η δοσιμετρία αξονικών τομογράφων απαιτεί ειδικά πρωτόκολλα δοσιμετρίας και όργανα μέτρησης. Με την παραγωγή και χρήση νέων συστημάτων αξονικών τομογράφων (πχ πολυτομικών – multi slice) η δοσιμετρία γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκη ενώ η αβεβαιότητα των μετρήσεων αυξάνει.

Η διακρίβωση και βαθμονόμηση οργάνων CT δοσιμετρίας απαιτεί ιδιαίτερες τεχνικές και μεθόδους.

Τα δοσιμέτρα που έχουν διακριβωθεί / βαθμονομηθεί στο EBOIA δείχνουν μικρή ενεργειακή εξάρτηση και καλή ακρίβεια. Παλαιότεροι τύποι δοσιμέτρων που μετρούν σε R βαθμονομούνται στις SI μονάδες.

Μετρήσεις σε κλινικούς αξονικούς τομογράφους δείχνουν μεγάλο εύρος δόσεων για παρόμοιες εξετάσεις, γεγονός που οφείλεται τόσο στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά όσο και στα κλινικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Euratom EUR 23464, EUROPEAN COMMISSION, Radiation Quantities and Units, Dose to the Patients, and Image Quality in Computed Tomography (CT) (RAD UNITS), André Wambersie; 2008

EUR 1997, European Commission's Study Group on "Developments on Quality Criteria for Computed Tomography" *Report EUR 16262; 1997*

International Atomic Energy Agency (IAEA). Dosimetry in diagnostic radiology: An international code of practice, Technical reports series No 457. STI/DOC/010/457, ISBN 92-0-115406-2; 2007.

International Electrotechnical Commission (IEC). Medical Diagnostic X-Ray Equipment - Radiation Conditions for Use in the Determination of Characteristics. IEC 61267, IEC, Geneva; 2005.

International Electrotechnical Commission (IEC). Medical electrical equipment: dosimeters with ionization chambers and/or semiconductor detectors as used in X-ray diagnosis imaging. IEC 61674, IEC, Geneva; 1997.

International Organization for Standardization (ISO). Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement. ISO, Geneva; 1995.

Bochud FO, Grecescu M and Valley JF, Calibration of ionization chambers in air kerma length, *Phys. Med. Biol.* 46, 2477–2487; 2001

Maia AF and Caldas LVA, Performance of a pencil ionization chamber in various radiation beams, *Applied Radiation and Isotopes* 58, 595–601; 2003

Perris A, Hourdakis C.J., Manetou A., Iordanou D and Lyra M. "Examination frequencies and Patient Doses from CT in Greece", *Health Physics*, **77 (2)**, 192-195; 1999

Papadimitriou D., Perris A., Manetou A., Molfetas M., Panagiotakis N., Lyra-Georgosopoulou M., Hourdakis C.J., Kottou S., Tosi G., Origgi D. and Vigorito S. A Survey of 14 Computed Tomography Scanners in Greece and 32 Scanners in Italy. Examination Frequencies, Dose Reference Values, Effective Doses and Doses to Organs, *Radiat Prot Dosim* **104(1)**, pp 47-53; 2003



Brix G., Nagel H.D., Stamm G., Veit R., Lechel U., Griebel J. and Galanski M., Radiation Exposure in multi-slice versus single slice Spiral CT : Results of a nationwide survey, *Eur Radiol*, **13(8)**, 1979-1991; 2003

Dixon R.L, A new look at CT Dose Measurement : Beyond CTDI, *Med Phys* **30(6)**, 1272-1280; 2003

Imhof H, Schibany N, Ba-Ssalamah A, Czerny C, Hojreh A, Kainberger F, Krestan C, Kudler H, Nobauer I, and Nowotny R. Spiral CT and radiation Dose, *Eur J. Radiology*, **47**, 29-37; 2003

American Association of Physicist in Medicine (AAPM) Task Group 6, Wagner LK, Fontenla DP, Kimme-Smith C, Rothenberg LN, Shepard J, Boone JM. Recommendations on performance characteristics of diagnostic exposure meters: report of AAPM Diagnostic X-Ray Imaging Task Group No. 6. *Med Phys* 19(1): 231-241; 1992

DeWerd LA, Wagner LK. Characteristics of radiation detectors for diagnostic radiology. *Appl Radiat Isot* 50: 125-136; 1999.

Martin CJ. An evaluation of semiconductor and ionization chamber detectors for diagnostic x-ray dosimetry measurements. *Phys Med Biol* 52: 4465-4480; 2007

VanDijk E, DeVries W. Results of the comparison of primary air kerma standards for x-ray qualities used in diagnostic radiology. (NMI Van Swinden Laboratorium) EUROMET 364 Report nr. S-TS-2000-10; 2000.