

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ REVIEW

Ιατρο-κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της αξονικής τομογραφίας και η εξέλιξη των πολυτομικών αξονικών τομογράφων

Διεθνείς μελέτες αποδεικνύουν ότι στην Αμερική η ακτινοβολία της αξονικής τομογραφίας προκαλεί ετησίως 3.000 θανατηφόρους καρκίνους, ενώ η αυξητική τάση στη χρήση της αγγίζει το 10% επιβαρύνοντας το κοινωνικό σύνολο. Η ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας των αξονικών τομογράφων με την εισαγωγή των πολυτομικών προσφέρει νέες εφαρμογές με ασφαλή και γρήγορα συμπεράσματα και παράλληλα αυξημένα επίπεδα δόσεων ακτινοβολίας. Βασικές αρχές όπως η αιτιολόγηση των εξετάσεων, η βελτιστοποίηση των ακτινολογικών πρωτοκόλλων και η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας για τον κίνδυνο και τη μέτρηση της ακτινοβολίας στοχεύουν στην προστασία της κοινωνίας από τις βλαβερές συνέπειες της ακτινοβολίας από μια τυπική εξέταση αξονικής τομογραφίας. Προβλέψεις για εγκατάσταση 88.000 νέων πολυτομικών αξονικών τομογράφων παγκόσμια κατά την προσεχή δεκαετία επιβάλλουν την εφαρμογή τέτοιων βασικών αρχών, ενώ αναγκαία θεωρείται η χρήση οικονομικών μοντέλων όπως το κόστος κύκλου ζωής (life cycle cost) ως εργαλείο λήψης απόφασης αγοράς αξονικών τομογράφων, με στόχο την οικονομική αποτίμηση σε σχέση με το υγειονομικό όφελος. Η Ελλάδα έχει υψηλό ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης αγοράς της συγκεκριμένης τεχνολογίας που ανέρχεται στο 8% και ταυτόχρονα κατέχει την πρώτη θέση στις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) με 0,32 αξονικές τομογραφίες ανά άτομο, όταν στην Αμερική η αντιστοιχία ανέρχεται σε 0,18 ανά άτομο και στην Αγγλία είναι 0,03 ανά άτομο. Υπό το πρίσμα αυτό, η θέσπιση νομοθετικού πλαισίου με στόχο τη μείωση της χρήσης και των επιπέδων δόσεων της αξονικής τομογραφίας αρχίζει και γίνεται ορατή, αφού στην Καλιφόρνια από τα μέσα του 2012 ποινικοποιείται η λανθασμένη δόση ακτινοβολίας που θα λάβει ο ασθενής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους βασικότερους προσδιοριστικούς παράγοντες αύξησης των δαπανών υγείας παγκόσμια είναι η σύγχρονη βιοϊατρική τεχνολογία, η οποία αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια με ταχύτατους ρυθμούς.¹ Το πεδίο της βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι ευρύ και βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της Ιατρικής, παρέχοντας λύση σε πολλούς ασθενείς τόσο κατά τη διάρκεια της κλινικής έρευνας όσο και κατά τη διάρκεια της διάγνωσης και της θεραπείας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι (multislice computed

tomography scanners, MSCT), οι οποίοι αναπτύσσονται συνεχώς, κυρίως την τελευταία δεκαετία, με κύρια χαρακτηριστικά τη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας, την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξέτασης και την εφαρμογή συστημάτων μείωσης της δόσης της ακτινοβολίας που μεταφέρεται στον ασθενή. Συνέπεια της εν λόγω εξέλιξης είναι η κυρίαρχη θέση της στη Διαγνωστική Ακτινολογία, με νέες και ασφαλείς εφαρμογές και ταυτόχρονα γρήγορα και αξιόπιστα αποτελέσματα.² Ωστόσο, από πρόσφατη μελέτη διαπιστώνεται ότι η έκθεση του ασθενούς σε ακτινοβολία αξονικής τομογραφίας αποτελεί αιτία εμφάνισης καρκίνου, ενώ η αυξητική τάση της χρήσης της δημιουργεί ανησυχία

ΑΡΧΕΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ 2011, 28(6):767-776
ARCHIVES OF HELLENIC MEDICINE 2011, 28(6):767-776

Α. Μορφονιός,
Δ. Καϊτελίδου,
Γ. Μπαλτόπουλος,
Π. Μυριανθεύς

Τμήμα Νοσηλευτικής, Εθνικό και
Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Αθήνα

Medical, social and economic implications of computed tomography and the evolution of multislice computed tomography scanners

Abstract at the end of the article

Λέξεις ευρετηρίου

Αξονική τομογραφία
Διασφάλιση ποιότητας
Κόστος κύκλου ζωής

Υποβλήθηκε 2.2.2011
Εγκρίθηκε 28.3.2011

για τη δημόσια υγεία.³ Παράλληλα, οι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι επιβαρύνουν αισθητά τα υγειονομικά συστήματα εξ αιτίας του υψηλού κόστους αγοράς και συντήρησης.⁴ Λόγω της παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής κρίσης και των περιορισμένων πόρων στην υγεία, η ανάγκη αξιολόγησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας υγείας καθίσταται πλέον απαραίτητη, με στόχους τη διασφάλιση της ποιότητας, την εξοικονόμηση πόρων και την ορθή λήψη αποφάσεων από την πολιτική υγείας.

2. ΟΙ ΙΑΤΡΟ-ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η σύλληψη της ιδέας για την κατασκευή του πρώτου συστήματος αξονικής τομογραφίας από τον Hounsfield ήταν πραγματικά επαναστατική και για το λόγο αυτόν τιμήθηκε με το βραβείο Νομπέλ. Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας και των υπολογιστικών συστημάτων είχε ως αποτέλεσμα την εντυπωσιακή εξέλιξη των συστημάτων αξονικής τομογραφίας. Στις ημέρες μας, τα συστήματα αξονικής τομογραφίας εφαρμόζοντας τις τεχνικές spiral και πολλαπλών τομών προσφέρουν εικόνες εκπληκτικής ευκρίνειας μειώνοντας θεαματικά τον απαιτούμενο χρόνο εξέτασης. Η δόση της ακτινοβολίας που μεταφέρεται στον ασθενή όμως είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες συμβατικές εξετάσεις.⁵

Για την αξιολόγηση των κινδύνων της ακτινοβολίας, η καλύτερη παράμετρος είναι η αποτελεσματική δόση (effective dose). Συγκρίνοντας τις αποτελεσματικές δόσεις, μπορεί κάποιος να αντιληφθεί πόσο υψηλές είναι οι δόσεις της αξονικής τομογραφίας από τις απλές ακτινογραφίες. Για παράδειγμα, για μια αξονική τομογραφία κρανίου η αποτελεσματική δόση είναι 1,4 mSv, σχεδόν μισή από την αποτελεσματική δόση που μπορεί να λάβει κάποιος από το φυσικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια του έτους (3 mSv) (πίν. 1). Ακόμη και για μια αξονική τομογραφία θώρακα, η αποτελεσματική δόση είναι 5,9 mSv, μεγαλύτερη δηλαδή και από την αποτελεσματική δόση που λαμβάνουν οι εργαζόμενοι ετησίως σε εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας (2,1 mSv) (πίν. 2).⁶

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αύξηση της χρήσης της αξονικής τομογραφίας. Στην Αμερική, από το 1992–2002 ο ετήσιος αριθμός των αξονικών τομογραφιών ανά ακτινολόγο πλήρους απασχόλησης αυξήθηκε από 1.021,2 σε 2.126,7. Συνδυάζοντας τους εν λόγω αριθμούς με τον αριθμό των ακτινολόγων πλήρους απασχόλησης, που είναι σχετικά σταθερός, παρατηρείται μια αύξηση από 22,7 εκατομμύρια σε 52,3 εκατομμύρια διαδικασίες ετησίως κατά τη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου, στοιχείο που σημαίνει ετήσια αύξηση κατά 9% περίπου.⁷

Πίνακας 1. Δόσεις ακτινοβολίας από διαγνωστικές και θεραπευτικές επεμβάσεις.

Πηγή ακτινοβολίας	Αποτελεσματική δόση (mSv)
Ενδοστοματική ακτινογραφία	0,013
Μαστογραφία	0,070
Ακτινογραφία θώρακα	0,140*
Ακτινογραφία αυχενικής μοίρας	0,270
Ακτινογραφία πυέλου	0,830
Αξονική τομογραφία κρανίου	1,400
Ακτινογραφία οσφυϊκής μοίρας σπονδυλικής στήλης	1,800
Σπινθηρογράφημα οστών (Πυρηνική Ιατρική)	4,400
Αξονική τομογραφία θώρακα	5,900
Αγγειογραφία καρδιάς	7,300
Αξονική τομογραφία κοιλιάς	8,500
Αξονική τομογραφία πυέλου	8,500
Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων	10,000
Αιμάτωση μυοκαρδίου (Πυρηνική Ιατρική)	18,000
Διαδερμική διαυλική στεφανιαία αγγειοπλαστική	22,000
Ακτινοθεραπεία	>1.000**

Πηγή: Τα δεδομένα που δεν παρατίθενται στην αξονική τομογραφία είναι ο μέσος όρος που αναφέρεται στα Ηνωμένα Έθνη από το επίπεδο υγειονομικής περιθάλψης Ι (χώρες με τουλάχιστον έναν ιατρό ανά 1.000 άτομα) (UNSCEAR).¹⁶ Τα δεδομένα της αξονικής τομογραφίας προέρχονται από τους McCullough και Schueler, 2000, από πρόσφατα στοιχεία της έρευνάς τους στις Ηνωμένες Πολιτείες.

* Ο αριθμός είναι υψηλός. Σε άλλες έρευνες, η ακτινογραφία θώρακα έχει χαμηλότερες τιμές (0,02–0,04 mSv)

** Η έννοια της αποτελεσματικής δόσης δεν εφαρμόζεται στην ακτινοθεραπεία. Η τιμή των >1.000 mSv συμπεριλαμβάνεται προκειμένου να υπάρξει σύγκριση των δόσεων ακτινοβολίας

Οι Ngutter et al⁸ διαπίστωσαν ότι στο σύνολο των μελετών που αφορούν στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες –περιλαμβανομένης και της Πυρηνικής Ιατρικής– στην Αμερική, η αξονική τομογραφία αποτέλεσε το 34% της συνολικής δόσης, ενώ οι Hart και Wall⁹ αναφέρουν ότι στην Αγγλία η συμβολή της αξονικής τομογραφίας στη συνολική ακτινική επιβάρυνση του πληθυσμού διπλασιάστηκε μέσα σε 10 χρόνια, σε ποσοστό 40%.

Επίσης, οι Shrimpton et al¹⁰ υπολόγισαν ότι στην Αμερική πραγματοποιούνται σχεδόν 55 εκατομμύρια αξονικές τομογραφίες ετησίως ή 0,18 ανά άτομο και στην Αγγλία 2 εκατομμύρια αξονικές τομογραφίες κάθε έτος ή 0,03 ανά άτομο. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα πρόσφατα στοιχεία του ΟΟΣΑ,¹¹ κατ' έτος διενεργούνται 320,9 αξονικές τομογραφίες/1.000 άτομα ή αλλιώς 0,32 ανά άτομο, σχεδόν 2,5 φορές περισσότερες από το μέσο όρο των χωρών του ΟΟΣΑ, δηλαδή 128,2/1.000 άτομα ή 0,13/άτομο (πίν. 3). Επίσης, η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση με 10.465,1 αξονικές τομογραφίες ανά αξονικό τομογράφο, εμφανίζο-

Πίνακας 2. Ετήσιες θεσμοθετημένες τιμές και τυπικές τιμές έκθεσης σε ακτινοβολία.

Πηγή ακτινοβολίας	Αποτελεσματική δόση (mSv κατ' έτος)
<i>Τύπος έκθεσης σε ακτινοβολία</i>	
Κάτοικος ΗΠΑ (φυσικό περιβάλλον)	3,00
<i>Εκθέσεις επαγγελματιών</i>	
Εργάτης ορυχείου άνθρακα	0,70
Ιατρικός εργαζόμενος (με μετρητή δόσης)	0,90
Εργάτης ορυχείου ουρανίου	1,25
Εργάτης πυρηνικού εργοστασίου (με μετρητή δόσης)	2,10
Προσωπικό αεροσκάφους	3,00
<i>Εκθέσεις ρουτίνας</i>	
Κάτοικος εντός 50 μιλίων από πυρηνικό σταθμό	0,00009
Κάτοικος εντός 50 μιλίων από σταθμό καύσης άνθρακα	0,0003
Παρακολούθηση τηλεόρασης	0,001
Συχνές αεροπορικές μεταφορές (6 ώρες την εβδομάδα)	2,00
<i>Θεσμοθετημένα όρια</i>	
Ετήσιο ανώτατο όριο δόσης για το κοινό από τεχνητές πηγές*	1,00
Ετήσιο όριο δόσης από επαγγελματική δραστηριότητα στις ΗΠΑ**	50,00
Ετήσιο όριο δόσης ασθενών	Χωρίς όριο

Πηγή: EPA,¹⁵ NRC 2005 και UNSCEAR.¹⁶ Η συνολική ετήσια δόση για ένα άτομο είναι το σύνολο των δόσεων από κάθε εφαρμόσιμη πηγή. Να σημειωθεί ότι αυτές οι δόσεις είναι μέσες τιμές, ενώ οι πραγματικές δόσεις που λαμβάνουν τα άτομα μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετικές.

*Όριο δόσεων στο κοινό από την Αμερικανική Πυρηνική Ρυθμιστική Επιτροπή (US Nuclear Regulatory Commission)

** Αμερικανική Πυρηνική Ρυθμιστική Επιτροπή (10 CFR 835.202)

ντας μεγάλη διαφορά έναντι των υπολοίπων χωρών, αφού η Τσεχία (2η) πραγματοποιεί 6.149,5 αξονικές τομογραφίες και η Σλοβακία 6.029,3 (3η) ανά αξονικό τομογράφο, ενώ ο μέσος όρος του ΟΟΣΑ ανέρχεται σε 5.692,1 αξονικές τομογραφίες ανά αξονικό τομογράφο (πίν. 4).

Το 1998, στο RSNA παρουσιάστηκε η τεχνολογία των πολυτομικών αξονικών τομογράφων από διάφορους κατασκευαστές, πραγματοποιώντας ένα τεράστιο βήμα στη βελτίωση των κλινικών εφαρμογών.¹²

Η σάρωση υψηλής ταχύτητας με ταυτόχρονη λήψη πολλαπλών τομών σε ολόκληρο το σώμα, η τρισδιάστατη εικόνα υψηλής ποιότητας (χαμηλής και υψηλής διακριτικής ικανότητας) με χρήση αλγόριθμου ανακατασκευής και ένα ευρύ φάσμα από διάφορα πάχη τομών με αύξηση του πεδίου εξέτασης, οι ανιχνευτές πολλαπλών σειρών

Πίνακας 3. Συνολικές εξετάσεις αξονικής τομογραφίας/1.000 άτομα.

Χώρα	2007	2008	2009
Ελλάδα		320,9	
Βέλγιο	167,6	182,6	
Ισλανδία	144,8	164,0	
Γαλλία	120,4	130,0	
Αυστραλία	88,3	93,7	
Δανία	73,6	83,8	
Τσεχία	75,1	83,3	
Σλοβακία	68,9	82,7	
Κορέα	69,1	80,4	92,6
Ολλανδία		60,3	
Αυστρία			
Καναδάς			
Χιλή			
Φινλανδία			
Γερμανία			
Ουγγαρία			
Ιρλανδία			
Ιταλία			
Ιαπωνία			
Λουξεμβούργο	175,5		
Μεξικό			
Ν. Ζηλανδία			
Νορβηγία			
Πολωνία			
Πορτογαλία			
Ισπανία			
Σουηδία			
Ελβετία			
Τουρκία			
Ηνωμένο Βασίλειο			
Ηνωμένες Πολιτείες	227,8		
Μέσος όρος		128,2	
Σύνολο		1.281,7	

Πηγή: OECD¹¹

και η εφαρμογή φίλτρων μείωσης της ακτινοβολίας είναι κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας.²

Τα πλεονεκτήματα των πολυτομικών αξονικών τομογράφων είναι ιδιαίτερα σημαντικά και επιτρέπουν εξετάσεις όπως η αξονική στεφανιογραφία, η αξονική αγγειογραφία άκρων, η αξονική κολονογραφία, με εξαιρετικά διαγνωστικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η αξονική στεφανιογραφία

Πίνακας 4. Εξετάσεις αξονικής τομογραφίας/αξονικό τομογράφο.

Χώρα	2007	2008	2009
Ελλάδα		10.465,1	
Τσεχία	5.829,5	6.149,5	
Σλοβακία	5.028,7	6.029,3	
Ολλανδία		5.881,6	
Ισλανδία	4.510,1	5.236,9	
Δανία	3.974,5	3.897,5	
Κορέα	1.861,3	2.184,8	2.494,4
Αυστραλία			
Αυστρία			
Βέλγιο			
Καναδάς			
Χιλή			
Φινλανδία			
Γαλλία			
Γερμανία			
Ουγγαρία			
Ιρλανδία			
Ιταλία			
Ιαπωνία			
Λουξεμβούργο	6.481,3		
Μεξικό			
Ν. Ζηλανδία			
Νορβηγία			
Πολωνία			
Πορτογαλία			
Ισπανία			
Σουηδία			
Ελβετία			
Τουρκία			
Ηνωμένο Βασίλειο			
Ηνωμένες Πολιτείες	6.647,3		
Μέσος όρος		5.692,1	

Πηγή: OECD¹¹

μπορεί να εφαρμοστεί εναλλακτικά από την αγγειογραφία με καθετήρα αφού είναι αναίμακτη, το σκιαγραφικό χορηγείται ενδοφλέβια, ο χρόνος εξέτασης και το κόστος είναι μικρότερα και δεν απαιτείται νοσηλεία του εξεταζόμενου, ενώ η αναπαράσταση των στεφανιαίων αγγείων προσφέρεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση.¹³

Ωστόσο, οι νέες εφαρμογές με την αυξητική τάση της αξονικής τομογραφίας σε παγκόσμιο επίπεδο επέβαλε την αξιολόγηση του κινδύνου της ακτινοβολίας που μεταφέρεται

στον ασθενή κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Μια πρόσφατη μελέτη δημοσιεύτηκε από την Επιτροπή για τις Βιολογικές Επιπτώσεις της Ιοντίζουσας Ακτινοβολίας (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation), με σκοπό να συμβουλευσει την κυβέρνηση της Αμερικής για τον κίνδυνο της αξονικής τομογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη είναι γνωστή ως BEIR VII,³ η οποία αναφέρει ότι μια τυπική εξέταση αξονικής τομογραφίας εμπεριέχει την πιθανότητα 1/1.000 εμφάνισης καρκίνου με δείκτη θνησιμότητας περίπου στο 50%, γεγονός που επισφραγίζεται και από παρόμοιους υπολογισμούς που εφαρμόστηκαν από τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (International Commission on Radiological Protection, ICRP),¹⁴ από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (US Environmental Protection Agency, EPA)¹⁵ και από την Επιστημονική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για τις Επιπτώσεις της Ατομικής Ακτινοβολίας (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR).¹⁶

Οι Berrington de González και Darby¹⁷ έκαναν χρήση των υπολογισμών του UNSCEAR,¹⁴ που είναι σχεδόν παρόμοιοι με αυτούς του BEIR VII, σε σχέση με τη συνολική χρήση της Ακτινολογίας από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και συμπέραναν ότι η Διαγνωστική Ακτινολογία προκαλεί 5.695 καρκίνους κατ'έτος στην Αμερική. Συνδυάζοντας το συγκεκριμένο συμπέρασμα με την αναλογία της αξονικής τομογραφίας στη συνολική ακτινική επιβάρυνση (67%), καθώς και με τη σχετική μελέτη ότι η επίπτωση του καρκίνου είναι διπλάσια της θνησιμότητας (BEIR),³ ο αριθμός των θανάτων που συνδέονται με την αξονική τομογραφία ήταν σχεδόν 1.867 ετησίως.

Οι Brenner et al,¹⁸ κάνοντας χρήση των ίδιων αριθμών όσον αφορά στη χρήση της αξονικής τομογραφίας με τους Berrington de González και Darby, αλλά εφαρμόζοντας τους υπολογισμούς του BEIR V,¹⁹ συμπέραναν ότι για το 2001 η αξονική τομογραφία ήταν υπεύθυνη για 2.500 θανάτους στην Αμερική.

Αυτές οι δύο μελέτες τεκμαίρονται το ίδιο σχεδόν αποτέλεσμα για την αξονική τομογραφία και αν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα χρησιμοποιηθούν με τη σημερινή χρήση της αξονικής τομογραφίας ενδέχεται να προκύψει το συμπέρασμα ότι για το 2006 οι εξετάσεις αξονικής τομογραφίας στην Αμερική προκάλεσαν σχεδόν 3.000 θανατηφόρους καρκίνους (πίν. 5).⁶

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα παιδιά σε νεαρή ηλικία βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου από αξονική τομογραφία έναντι των ενηλίκων, και αυτό επειδή τα κύτταρά τους διαιρούνται ταχύτερα και συνεπώς είναι περισσότερο ευαίσθητα στην καταστροφή τους από την ακτινοβολία. Επίσης, η ίδια μελέτη (BEIR VII)

Πίνακας 5. Κίνδυνος πρόωρου θανάτου σε σχέση με την αξονική τομογραφία στις ΗΠΑ.

Αιτία πρόωρου θανάτου	Εκτιμώμενοι θάνατοι κατ' έτος	Κίνδυνος σε σχέση με την αξονική τομογραφία
Μη ιονικά μέσα αντίθεσης*	134	0,04
Ιονικά μέσα αντίθεσης*	169	0,06
Καρκίνος από ακτινοβολία αξονικής τομογραφίας**	3.000	1,00
Τροχαία ατυχήματα***	44.065	15,00
Κάπνισμα****	438.000	146,00

Πηγή: * Contrast media incidents, FDA data from Lasser et al, 1997, contrast media use

** Wysowski et al, 2006, CT, extrapolated from Berrington de González και Darby¹⁷

*** Traffic accidents, US government data from Minino et al, 2006

**** Smoking, CDC, 2005

αναφέρει ότι ο κίνδυνος εμφάνισης θανατηφόρου καρκίνου σε νεαρά παιδιά είναι τρεις φορές μεγαλύτερος από έναν ενήλικα, ηλικίας 30 ετών.³

Πιθανόν, όταν οι παράμετροι για τη διενέργεια εξετάσεων αξονικής τομογραφίας είναι σταθερές, η δόση ακτινοβολίας του ασθενούς αυξάνει όσο μειώνεται το μέγεθος του σώματος. Οι Huda et al²⁰ αναφέρουν ότι η αποτελεσματική δόση κρανίου για ένα νεογνό είναι 6 mSv, ενώ για έναν ενήλικα ανέρχεται σε 1,5 mSv. Παρομοίως, για μια εξέταση κοιλίας η αποτελεσματική δόση για ένα νεογνό είναι 5,3 mSv ενώ για έναν ενήλικα ανέρχεται στα 3,1 mSv. Συνεπώς, ένα νεογνό λαμβάνει τετραπλάσια δόση για μια εξέταση κρανίου απ' ό,τι ένας ενήλικας.

Δυστυχώς, η δόση ακτινοβολίας που απορροφά ο ανθρώπινος οργανισμός από την αξονική τομογραφία είναι ανεπαρκώς κατανοητή τόσο από τους επαγγελματίες υγείας όσο και από τους ασθενείς. Οι Lee et al²¹ διαπίστωσαν σε αμερικανικό πανεπιστημιακό νοσοκομείο, στο τμήμα επειγόντων περιστατικών, ότι το 74% των παθολόγων και το 77% των ακτινολόγων υπολόγισαν λανθασμένα τη δόση ακτινοβολίας που λαμβάνει ένας ασθενής από μια τυπική αξονική τομογραφία. Επίσης, το 92% των ασθενών του νοσοκομείου που υποβλήθηκαν σε αξονική τομογραφία ήταν πολύ λιγότερο ενημερωμένο για τη δόση ακτινοβολίας υπολογίζοντάς την 1–10 φορές υψηλότερη απ' ό,τι μια απλή ακτινογραφία.²¹

Τέτοια συμπεράσματα όμως δεν είναι ασυνήθιστα ούτε προκαλούν έκπληξη. Οι συστηματικές προσπάθειες που καταβάλλονται προκειμένου να καταγραφούν οι δόσεις ακτινοβολίας βρίσκονται σε αρχικό στάδιο. Τόσο οι επαγγελματίες υγείας όσο και οι ασθενείς γνωρίζουν ελάχιστα

για τις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται προκειμένου να εκφράσουν τη δόση ακτινοβολίας, για τα τυπικά επίπεδα των δόσεων ή για τον κίνδυνο που συνδέεται με τα επίπεδα των δόσεων.²²

Η έλλειψη συνειδητοποίησης των έμφυτων κινδύνων που συνδέονται με την αξονική τομογραφία οφείλεται στο γεγονός ότι οι καρκίνοι για να αναπτυχθούν χρειάζονται 20 χρόνια, ενώ οι εξετάσεις αξονικής τομογραφίας ήταν οι μισές σχεδόν απ' ό,τι είναι σήμερα.²³

Επίσης, οι ασθενείς που υποβάλλονται συνεχώς σε εξετάσεις αξονικής τομογραφίας λόγω χρόνιου νοσήματος έχουν μικρότερο προσδόκιμο επιβίωσης. Συνεπώς, μπορεί να αποβιώσουν από άλλες αιτίες πριν από την εμφάνιση κάποιας μορφής καρκίνου.⁶

Οργανισμοί όπως το Αμερικανικό Κολέγιο Ακτινολογίας (American College of Radiology, ACR)²⁴ τονίζουν τη σημασία της χρήσης της αξονικής τομογραφίας μόνο για σημαντικούς ιατρικούς λόγους και με την ελάχιστη δόση, αλλά και ο Αμερικανικός Οργανισμός Φαρμάκων και Τροφίμων (US Food and Drug Administration, FDA)²⁵ προσδίδει πλέον μεγαλύτερη έμφαση στα ζητήματα των δόσεων ακτινοβολίας στη Διαγνωστική Ακτινολογία.

Τέλος, σε μια ανασκόπηση αναφορικά με δημόσιες δηλώσεις διαφόρων επαγγελματιών ενώσεων ακτινολόγων δύσκολα εντοπίζονται σαφείς αναφορές για τον κίνδυνο που σχετίζεται με την αξονική τομογραφία.⁶

3. ΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΩΝ

Η εισαγωγή και η διάχυση νέων κλινικών εφαρμογών από τους πολυτομικούς αξονικούς τομογράφους την τελευταία δεκαετία είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση της αξονικής τομογραφίας και ταυτόχρονα την οικονομική επιβάρυνση όλων των σύγχρονων υγειονομικών συστημάτων. Στην Αμερική, υπολογίστηκε ότι η χρήση της κόστισε \$ 2 δισεκατομμύρια για το 2008, ενώ προβλέπεται έως το 2015 ετήσια ανάπτυξη 2,5%, η οποία θα κοστίσει σχεδόν \$ 4 δισεκατομμύρια. Οι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι είναι ο κύριος τομέας αγοράς, αφού για το 2008 κατείχε το 95% της παγκόσμιας αγοράς και προβλέπεται ότι ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (compound annual growth rate, CAGR) θα φθάσει παγκόσμια στο 3,2%.²⁶

Η Ελλάδα έχει υψηλό ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (πίν. 6) αγοράς αξονικών τομογράφων, που ανέρχεται στο 8%, με το μέσο όρο στις χώρες του ΟΟΣΑ να κυμαίνεται στο 7,7% (στοιχεία διαθέσιμα από Δανία, Ελλάδα, Φινλανδία,

Πίνακας 6. Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης αξονικών τομογράφων 2005–2009 στις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης).

Χώρα	Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (%)
Δανία	14,6
Ισλανδία	12,0
Ιρλανδία	11,5
Φινλανδία	9,1
Ελλάδα	8,0
Κορέα	3,8
Αυστραλία	-4,9
Μέσος όρος	7,7

Πηγή: OECD¹¹

Να σημειωθεί ότι δεν διατίθενται στοιχεία για τις υπόλοιπες χώρες του ΟΟΣΑ (Αυστρία, Βέλγιο, Καναδάς, Χιλή, Τσεχία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Ιαπωνία, Λουξεμβούργο, Μεξικό, Ολλανδία, Ν. Ζηλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Τουρκία, Ηνωμένο Βασίλειο και Ηνωμένες Πολιτείες)

Ισλανδία, Ιρλανδία, Αυστραλία και Κορέα) (πίν. 6).¹¹

Συνολικά, το 85% της αγοράς των αξονικών τομογράφων βρίσκεται στην Αμερική, την Ιαπωνία και την Ευρώπη, ενώ όσον αφορά στην τελευταία, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία και η Γερμανία κατέχουν το 60% της ευρωπαϊκής αγοράς. Ακόμη, υπολογίζεται ότι έως το 2015 θα έχουν εγκατασταθεί παγκόσμια 88.000 νέοι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι.²⁷

Η εκρηκτική ανάπτυξη των πολυτομικών αξονικών τομογράφων σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (δημογραφικούς, κοινωνικούς κ.λπ.) επιβάλλουν την οικονομική αποτίμηση του κόστους χρήσης της τεχνολογίας υγείας σε σχέση με το υγειονομικό όφελος για την ορθολογικότερη λήψη απόφασης και την εξοικονόμηση πόρων.

Όσοι λαμβάνουν τις αποφάσεις (decision makers) για την αγορά ενός πολυτομικού αξονικού τομογράφου πρέπει να λάβουν υπ' όψη έξι βασικούς παράγοντες: Το κόστος, τη λειτουργία και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αξονικού τομογράφου, την ευκολία στη χρήση, την αναβάθμισή του, την αποθήκευση των εικόνων και την τεχνική υποστήριξη. Οι τέσσερις πρώτοι παράγοντες ίσως είναι περισσότερο ουσιαστικοί, αλλά η απόφαση για αγορά τέτοιου εξοπλισμού πρέπει να βρίσκεται σε συνάρτηση με τις ανάγκες της κάθε επιχείρησης.²⁸

Είναι γεγονός ότι οι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι έχουν πολλά κοινά τεχνικά χαρακτηριστικά, με το κόστος να αποτελεί το βασικότερο παράγοντα διαφοροποίησης

ανάμεσά τους. Όμως, το κόστος είναι πολύπλευρο και περιλαμβάνει πολλές όψεις.²⁸

Το κόστος κύκλου ζωής (life cycle cost, LCC) αποτελεί ένα οικονομικό μοντέλο, με σκοπό την ανάδειξη του ολικού κόστους ενός πολυτομικού αξονικού τομογράφου κατά τη διάρκεια ζωής του ή για μια μελετώμενη περίοδο σε σχέση με την παρούσα αξία (present value), καθώς περιλαμβάνει την τιμή αγοράς του μηχανήματος (purchase price), το κόστος εγκατάστασης (installation cost), το λειτουργικό κόστος (operating cost), το κόστος συντήρησης και αναβάθμισής του (maintenance and upgrade cost), ενώ παράλληλα αποτυπώνει την αξία μεταπώλησής του (residual or salvage value) μετά από συγκεκριμένη περίοδο. Όσοι λαμβάνουν τις αποφάσεις (decision makers) εφαρμόζοντας το κόστος κύκλου ζωής αποκτούν τη δυνατότητα λήψης απόφασης ανάμεσα σε διαφορετικούς αξονικούς τομογράφους, με κριτήριο τη σχέση κόστους-αποτελέσματος υπολογίζοντας τα χρήματα που θα δαπανηθούν στο μέλλον σε σχέση με τη σημερινή τους αξία.²⁹

Επίσης, οι προμηθευτές τέτοιων μηχανημάτων πωλούν πάντα σε υψηλότερη τιμή το τελευταίο μοντέλο τους. Με την κυκλοφορία του νέου τους μοντέλου, η τιμή αγοράς στο προηγούμενο μειώνεται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ευκαιρία αγοράς καθώς η διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων δεν είναι αισθητή.²⁸

Οι προσφερόμενες τιμές για πολυτομικούς αξονικούς τομογράφους σύμφωνα με το Ίδρυμα Ερευνών Επείγουσας Φροντίδας (Emergency Care Research Institute, ECRI) κυμαίνονται από \$ 1,2–2,5 εκατομμύρια, ενώ επιπρόσθετες εφαρμογές που αφορούν στα συστήματα μείωσης της δόσης ακτινοβολίας κοστίζουν \$ 0,2–1,5 εκατομμύρια.⁴

Η έννοια του κόστους όμως μπορεί να αξιολογηθεί με μια ευρύτερη προοπτική. Τα συστήματα μείωσης της δόσης της ακτινοβολίας μπορεί να κοστίζουν αρκετά αλλά είναι λιγότερο δαπανηρά από τη θεραπεία ενός καρκινοπαθούς ασθενούς. Αν υποθεθεί ότι ένας αξονικός τομογράφος διενεργεί 6.000 αξονικές τομογραφίες κατ' έτος για 5 έτη και συνδυαστούν οι υπολογισμοί της BEIR VII ότι 1/1.000 αξονικές τομογραφίες θα προκαλέσει καρκίνο στον ασθενή, τότε ο αξονικός τομογράφος θα έχει προκαλέσει 30 καρκίνους. Αγοράζοντας συστήματα που μειώνουν τη δόση στο μισό, ο αριθμός των καρκίνων αναμένεται να μειωθεί στους 15. Αν για παράδειγμα το σύστημα μείωσης της δόσης ακτινοβολίας στοιχίσει \$ 250.000, τότε το κόστος αποφυγής πρόκλησης ενός καρκίνου ανέρχεται στα \$ 16.666, που είναι αρκετά χαμηλότερο σε σχέση με το κόστος θεραπείας ενός καρκινοπαθούς.⁴

4. ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Η συνεχής βελτίωση και η διασφάλιση της ποιότητας στις αξονικές τομογραφίες είναι πολυδιάστατη και υποστηρίζεται από διεθνείς οργανισμούς, θεσπίζοντας κριτήρια και διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς (diagnostic reference levels) για την αξιολόγησή της σε διεθνή, εθνική ή τοπική κλίμακα, ενώ, παράλληλα, παρέχονται κατευθυντήριες οδηγίες (guidelines) για τη βελτιστοποίηση της προστασίας των ασθενών.³⁰⁻³²

Η διασφάλιση της ποιότητας –η εφαρμογή δηλαδή της τεχνολογίας όσο είναι εφικτό πιο αποτελεσματικά– στηρίζεται στη βασική αρχή ακτινοπροστασίας ότι οποιαδήποτε δραστηριότητα που περιλαμβάνει τη χρήση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας πρέπει να βρίσκεται *as low as reasonably achievable* (ALARA). Αυτό συνεπάγεται τη διατήρηση των δόσεων ακτινοβολίας σε πολύ χαμηλά επίπεδα και ταυτόχρονα την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας της εικόνας, καθώς η πιθανότητα για βλαβερές βιολογικές συνέπειες στο συνολικό πληθυσμό (ασθενείς, εργαζόμενους κ.λπ.) ενισχύεται με την αυξημένη δόση της ακτινοβολίας.³³

Ο Οργανισμός Φαρμάκων και Τροφίμων (FDA) υπογραμμίζει σε ανακοίνωσή του ότι, σε πολλές περιπτώσεις, η ποιότητα της εικόνας υπερβαίνει το επίπεδο για μια ασφαλή διάγνωση, με αποτέλεσμα η δόση της ακτινοβολίας να είναι υψηλότερη, κυρίως όταν πρόκειται για παιδιατρικές εξετάσεις.³⁴

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι οι δόσεις ακτινοβολίας για εξετάσεις ρουτίνας διαφέρουν από χώρα σε χώρα, γεγονός που δημιούργησε την ανάγκη θέσπισης τιμών αναφοράς.^{10,35} Οι διαγνωστικές τιμές αναφοράς δημιουργούν πρότυπα (standards) επίπεδα δόσεων ακτινοβολίας (diagnostic reference levels), με στόχο τη σύγκριση και την αξιολόγηση διαφορετικών αξονικών τομογράφων με διαφορετικές τεχνικές. Κατά συνέπεια, η διενέργεια ακτινολογικών εξετάσεων σύμφωνα με τα ακτινολογικά πρωτόκολλα παρέχει πιο ποιοτικές εξετάσεις για τους ασθενείς, αλλά και ασφαλέστερες τόσο για τους ίδιους όσο και για τους εργαζόμενους.

Οι Διεθνείς Πρότυποι Κανόνες Ασφάλειας για την Προστασία από τις Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες και για την Ασφάλεια από τις Πηγές Ακτινοβολίας (International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources) σε συνεργασία με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), τον Παναμερικανικό Οργανισμό Υγείας (Pan-American Health Organization), το Διεθνή Οργανισμό Εργασίας (International Labour Organization)³⁶ και την Ευρωπαϊκή Οδηγία 97/43 του Συμβουλίου (European Council Directive)³⁷ απαιτούν ότι

μια ακτινολογική εξέταση οφείλει να εκτελείται μόνο για αιτιολογημένους ιατρικούς λόγους (justification) και με την αναγκαία δόση ακτινοβολίας σε σχέση με την επαρκή ποιότητα της εικόνας.

Το Αμερικανικό Κολέγιο Ακτινολογίας (ACR) σε συνεργασία και με άλλους οργανισμούς διαθέτει ένα εθελοντικό πρόγραμμα πιστοποίησης της ποιότητας, με σκοπό τη διασφάλιση της ποιότητας της εικόνας και της δόσης ακτινοβολίας εντός συγκεκριμένων ορίων.³⁸ Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που αξιολογεί την αποτελεσματικότητα ενός αξονικού τομογράφου βάσει κριτηρίων, έτσι ώστε να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων τιμών. Οι εν λόγω τιμές συγκρίνονται με τις τιμές αναφοράς που έχουν δημιουργηθεί από την Επιτροπή Πιστοποίησης και την Υποεπιτροπή Φυσικής του Αμερικανικού Κολεγίου Ακτινολογίας (ACR's CT Accreditation Committee and Physics Subcommittee). Αξονικοί τομογράφοι που υπερβαίνουν τις συγκεκριμένες τιμές αναφοράς έχουν ως αποτέλεσμα την απόρριψη για πιστοποίηση και υποχρεώνονται σε υποβολή νέων στοιχείων, εφαρμόζοντας χαμηλότερα επίπεδα δόσης ακτινοβολίας και διατηρώντας, παράλληλα, την επαρκή ποιότητα της εικόνας.³⁸ Στην πραγματικότητα, όμως, τα κριτήρια αυτά δεν εφαρμόζονται από τους περισσότερους ακτινολόγους.^{39,40}

Για παράδειγμα, η αναδρομική μελέτη 200 ασθενών που εκπονήθηκε στο Level I Trauma Center έδειξε ότι στο 44% των αξονικών τομογραφιών δεν εφαρμόστηκαν τα Κριτήρια Καταλληλότητας και τα Πρότυπα του Αμερικανικού Κολεγίου Ακτινολογίας (American College of Radiology Appropriateness Criteria and Standards), και αυτό γιατί σε πολλές περιπτώσεις οι ασθενείς ακτινοβολήθηκαν χωρίς να είναι αναγκαίο, σύμφωνα με τα κριτήρια, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η αποτελεσματική δόση ήταν μεγαλύτερη εκείνης που προέβλεπαν τα κριτήρια. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι αν είχαν εφαρμοστεί τα κριτήρια η μέση δόση ακτινοβολίας θα μειωνόταν από 16 σε 9 mSv ανά ασθενή. Παράλληλα, όμως, θα μειωνόταν και η μέση χρέωση ανά ασθενή, συνολικά σχεδόν \$ 1,925.⁴¹

Εθνικά προγράμματα όπως αυτό, ενδεχομένως είναι ο μοναδικός τρόπος για να διασφαλίσουν οι χρήστες των αξονικών τομογράφων ότι η δόση ακτινοβολίας και η ποιότητα της εικόνας βρίσκονται σε κανονικά επίπεδα.

Πρόσφατα, τον Οκτώβριο του 2010, ο κυβερνήτης της Καλιφόρνιας Arnold Schwarzenegger υπέγραψε νομοσχέδιο που αφορά στις δραστηριότητες της Καλιφόρνιας σε θέματα ιοντίζουσών ακτινοβολιών με στόχο την ασφάλεια των ασθενών, των εργαζομένων και γενικά της κοινωνίας, σύμφωνα με το οποίο από 01.07.2012 επιβάλλεται η ηλεκτρονική καταγραφή της δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει

ο ασθενής από μια τυπική εξέταση αξονικής τομογραφίας να υπολογίζεται σε τιμές CTDIvol και DLP και να ελέγχεται ετησίως από ιατροφυσικό. Επίσης, από 01.07.2013 όλα τα νοσοκομεία και οι κλινικές στην Καλιφόρνια πρέπει να έχουν πιστοποιηθεί για τις ακτινολογικές εργασίες σύμφωνα με συγκεκριμένες δόσεις ακτινοβολίας ανά εξέταση, ενώ χαρακτηριστικό της σημασίας του νομοσχεδίου είναι η φράση “violation of these provisions is a crime”, ποινικοποιώντας τη λανθασμένη δόση ακτινοβολίας που θα λάβει ο ασθενής. Ακόμη, η μη αιτιολόγηση της εξέτασης δεν θα αποζημιώνεται από τον αρμόδιο φορέα.⁴²

Τέλος, το ECRI για τη χρήση της αξονικής τομογραφίας και τη διασφάλιση της ποιότητας τόσο για τους ασθενείς όσο και για το γενικό πληθυσμό προτείνει πέντε βασικές αρχές:⁶

- *Αιτιολόγηση* (justification): Οποιαδήποτε ακτινολογική εξέταση πρέπει να εφαρμόζεται μόνο για ιατρικούς λόγους
- *Βελτιστοποίηση* (optimization): Δημιουργία πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης ακτινοβολίας με επάρκεια στην ποιότητα της εικόνας
- *Συνεχή εκπαίδευση* (training): Το τεχνολογικό προσωπικό οφείλει να είναι εκπαιδευμένο και πιστοποιημένο στις ακτινολογικές διαδικασίες
- *Έλεγχος ποιότητας* (quality control): Η καταγραφή και ο έλεγχος της δόσης ακτινοβολίας για τους ασθενείς πρέπει να αποτελεί τμήμα της καθημερινής δραστηριότητας, ακόμη κι αν δεν είναι υποχρεωτικό
- *Αντίληψη του κινδύνου* (communicating the risk): Η ευκολία στην πρόσβαση πληροφοριών που σχετίζονται με τον υπολογισμό της δόσης ακτινοβολίας και τους κινδύνους της από τους επαγγελματίες υγείας θα δημιουργήσει προϋποθέσεις για την καταλληλότητα (appropriateness) των εξετάσεων.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αναμφισβήτητα, η αξονική τομογραφία αποτελεί το πλέον σύγχρονο διαγνωστικό εργαλείο με αξιόπιστα και ασφαλή συμπεράσματα αλλά ταυτόχρονα προκαλεί δραματικές συνέπειες. Ο μακροχρόνιος κίνδυνος ανάπτυξης καρκίνου από μια τυπική εξέταση αξονικής τομογραφίας είναι πολύ μικρός, αλλά όχι μηδενικός. Σύμφωνα με τις δύο πρόσφατες μελέτες, στην Αμερική θεωρείται ότι η αξονική τομογραφία προκαλεί σχεδόν 3.000 θανάτους ετησίως, αριθμός πολύ υψηλός σε σχέση με άλλες ιατρογενείς αιτίες θνησιμότητας και νοσηρότητας. Θα μπορούσε να συμφωνηθεί ότι όλα τα υγειονομικά συστήματα έχουν

ενσωματώσει πλέον τη χρήση της αξονικής τομογραφίας. Κατά συνέπεια, η χρήση της πρέπει να διεξάγεται με κριτήριο το υγειονομικό όφελος του ασθενούς και ταυτόχρονα την ελαχιστοποίηση του κινδύνου.

Σε γενικές γραμμές, ο κίνδυνος από τη δόση ακτινοβολίας της αξονικής τομογραφίας εξαρτάται από τον τρόπο που χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη τεχνολογία. Για παράδειγμα, οι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι παρουσιάζουν αυξημένη δόση ακτινοβολίας, κυρίως όταν ο χειρισμός τους δεν είναι σωστός. Η κατανόηση των παραγόντων που αυξάνουν τη δόση θα επιτρέψει την καθιέρωση αποτελεσματικών πρωτοκόλλων, με στόχο την παροχή διαγνωστικών πληροφοριών με χαμηλά επίπεδα δόσης ακτινοβολίας. Ωστόσο, χωρίς κατάλληλη εκπαίδευση και χρήση, τα επίπεδα της δόσης ακτινοβολίας θα παραμένουν υψηλά.

Γίνεται κατανοητό πλέον ότι η αυξημένη χρήση της αξονικής τομογραφίας σε συνδυασμό με την καρκινογενή της φύση γεννούν ανησυχία για τη δημόσια υγεία. Η αιτιολόγηση των αξονικών τομογραφιών, η βελτιστοποίηση των ακτινολογικών πρωτοκόλλων και η εξειδικευμένη εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελούν βασικές αρχές για την προστασία της κοινωνίας από τις αρνητικές συνέπειες της ακτινοβολίας.

Τα σύγχρονα υγειονομικά συστήματα εμφανίζουν δυσκολίες εξ αιτίας του αυξανόμενου κόστους στην υγεία, ενώ η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι εξαιρετικά δαπανηρή. Ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης αγοράς αξονικών τομογράφων σε πολλές χώρες υπερβαίνει το 10%, γεγονός που δημιουργεί τις προϋποθέσεις για αυστηρή οικονομική αποτίμηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε σχέση με το υγειονομικό όφελος.

Οι δυσμενείς ιατρο-κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της τεχνολογίας των πολυτομικών αξονικών τομογράφων επισφραγίζονται από διεθνείς οργανισμούς και μελέτες. Η εφαρμογή νομοθετικών πλαισίων στην επόμενη δεκαετία αναμένεται να είναι καθοριστική στη μείωση της χρήσης της αξονικής τομογραφίας και της δόσης ακτινοβολίας και κατ' επέκταση στην προστασία της κοινωνίας.

Το ιδιαίτερα υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης των πολυτομικών αξονικών τομογράφων μπορεί να αξιολογηθεί με την εφαρμογή του κόστους κύκλου ζωής ως εργαλείου λήψης απόφασης τόσο μεμονωμένα όσο και συνολικά σε ένα σύστημα υγείας, καθώς η συγκράτηση και η μείωση των δαπανών υγείας είναι το ζητούμενο τα τελευταία χρόνια στον παγκόσμιο υγειονομικό χάρτη.

ABSTRACT

Medical, social and economic implications of computed tomography and the evolution of multislice computed tomography scanners

A. MORFONIOS, D. KAITELIDOU, G. BALTOPOULOS, P. MYRIANTHEFS

*Department of Nursing, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece**Archives of Hellenic Medicine 2011, 28(6):767–776*

Studies show that in the USA the radiation generated by computed tomography (CT) examinations causes annually 3,000 fatal cancers, while the increasing trend in its use reaches 10%, overloading the budget of society. The rapid developments in CT, with the introduction of multislice scanners, provide new applications with rapid, accurate conclusions, but this new technology delivers increased levels of radiation doses. A set of basic principles for the application of CT, including justification for examinations, optimisation of radiological protocols and education of health professionals on the dangers and the measurement of radiation, aim at the protection of society from the damaging consequences of radiation from a typical CT examination. Predictions of the installation of 88,000 new multislice CT scanners worldwide over the next decade make imperative the application of such basic principles, and the use of economic models aimed at cost effect assessment concerning their health benefits, such as the life cycle cost, is judged as a necessary tool for decision-making on the purchase of scanners. Greece has a high compound annual growth rate in the market of this particular technology, reaching 8%, and is in the first place in the OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) countries for annual rate of use, with 0.32 CT examinations per individual, when in the USA the rate is 0.18 per individual and in England 0.03 per individual. In view of this information, the introduction of legislation aimed at the reduction of the use of CT and the levels of radiation dosage of CT becomes imperative, as in California, where from 2012 the wrong radiation dose received by the patient will be penalized.

Key words: Computed tomography, Life cycle cost, Quality assurance

Βιβλιογραφία

- OKUNAD AA, MURTHYVN. Technology as a major driver of health care costs: A cointegration analysis of the Newhouse conjecture. *J Health Econ* 2002, 21:147–159
- BONOMO L, FOLEY DW, IMHOF H, RUBIN G (eds). *Multidetector computed tomography technology: Advances in imaging techniques*. 1st ed. Royal Society of Medicine Press Ltd, London, 2003
- COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION (BEIR). *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII – Phase 2*. National Academies Press, Washington, DC, 2005
- EMERGENCY CARE RESEARCH INSTITUTE (ECRI). Premium systems evaluation of 5 high-end scanners. *Health Devices* 2009, 38:247–248
- ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. *Αξονική τομογραφία*. ΕΕΑΕ, Αθήνα, 2005
- ECRI. Radiation dose in computed tomography: Why it's a concern and what you can do about it. *Health Devices* 2007, 36:41–42, 44–63
- BHARGAVAN M, SUNSHINE JH. Workload of radiologists in the United States in 2002–2003 and trends since 1991–1992. *Radiology* 2005, 236:920–931
- NGUTTER LK, KOFLER JM, MCCOLLOUGH CH, VETTER RJ. Update on patient radiation doses at a large tertiary care medical center. *Health Phys* 2001, 81:530–535
- HART D, WALL BF. *Radiation exposure of the UK population from medical and dental x-ray examinations*. National Radiation Protection Board (NRPB)-W4, Chilton, England, 2002
- SHRIMPTON PC, HILLIER MC, LEWIS MA, DUNN M. *Doses from computed tomography (CT) examinations in the UK – 2003 review*. National Radiation Protection Board (NRPB)-W67, Chilton, England, 2005
- OECD. OECD health data 2010. June 2010
- TAGUCHI K, ARADATE H. Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT. *Med Phys* 1998, 25:550–561
- DIRKS E, SCHOLTZ L. Role of multislice computed tomography in cardiac imaging. *CmE* 2006, 24:300–304
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (wR)*. ICRP Publication no 92, Stockholm, Sweden, 2004
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Modifying EPA radiation risk models based on BEIR VII*. White Paper 8106. Office of Radiation and Indoor Air, EPA, Washington, DC, 2006
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). *Sources and effects of ionizing radiation*. Vol 1, UNSCEAR, Sources, Vienna, Austria, 2000
- BERRINGTON DE GONZÁLEZ A, DARBY S. Risk of cancer from diagnostic x-rays: Estimates for the UK and 14 other countries.

- Lancet* 2004, 363:345–351
18. BRENNER D, ELLISTON C, HALL E, BERDON W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001, 176:289–296
 19. COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION (BEIR). *Health risks of exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR V*. National Academies Press, Washington, DC, 1990
 20. HUDAW, ATHERTON JV, WARE DE, CUMMING WA. An approach for the estimation of effective radiation dose at CT in pediatric patients. *Radiology* 1997, 203:417–422
 21. LEE CI, HAIMS AH, MONICO EP, BRINK JA, FORMAN HP. Diagnostic CT scans: Assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology* 2004, 231:393–398
 22. SHIRALKAR S, RENNIE A, SNOW M, GALLAND RB, LEWIS MH, GOWER-THOMAS K. Doctors' knowledge of radiation exposure: Questionnaire study. *Br Med J* 2003, 327:371–372
 23. BHARGAVAN M, SUNSHINE JH, SCHEPPS B. Too few radiologists? *AJR Am J Roentgenol* 2002, 178:1075–1082
 24. AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. *ACR Practice guideline for performing and interpreting diagnostic computed tomography (CT)*. ACR, Reston, VA, amended 2002
 25. BARR HJ, OHLHABER T, FINDER C. Focusing in on dose reduction: The FDA perspective. *AJR Am J Roentgenol* 2006, 186:1716–1717
 26. GLOBAL DATA. *US computed tomography (CT) systems market: Strategic analysis and opportunity assessment to 2015*. Global Data, North America, 2009
 27. GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS, INC. *Worldwide installed base of CT scanners to exceed 88 thousand units by 2015*. GIA, San Jose, CA, 2008
 28. EMERGENCY CARE RESEARCH INSTITUTE. Choosing a scanner, six factors you need to consider. *Health Devices* 1999, 28:140–141
 29. KIRK SJ, DELL'ISOLA AJ. *Life cycle costing for design professionals*. McGraw-Hill, Inc, USA, 1995
 30. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION 2000. Managing patient dose in computed tomography. In: *Annals of International Commission on Radiological Protection. ICRP 84*. Didcot, Pergamon, Oxfordshire, England, 2000
 31. EUROPEAN GUIDELINES ON QUALITY CRITERIA FOR COMPUTED TOMOGRAPHY. *Report EUR 16262*. European Commission, Brussels, Belgium, 1999
 32. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Optimization of the radiological protection of patients undergoing radiography, fluoroscopy and computed tomography*. IAEA-TECDOC-1423. Vienna, Austria, 2004
 33. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. *Implementation of the principle of as low as reasonably achievable (ALARA) for medical and dental personnel*. NCRP report no 107, Bethesda, MD, 1990
 34. FEIGAL DW Jr. FDA public health notification: Reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. *Int J Trauma Nurs* 2002, 8:1–2
 35. WALL BF, SHRIMPSON PC. The historical development of reference doses in diagnostic radiology. *Radiation Protection Dosimetry* 1998, 80:15–20
 36. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*. IAEA Safety Series no 115, Vienna, Austria, 1996
 37. EUROPEAN UNION. COUNCIL DIRECTIVE 97/43 EURATOM OF 30 JUNE 1997. Health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure (Repealing Directive 84/466 Euratom). *Official Journal of the European Communities* 1997, L180:22–27
 38. AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. *ACR CT accreditation program requirements*. ACR, Reston, VA, revised 2005
 39. BERLIN L. American College of Radiology: Appropriateness criteria and standards: Separate programs. *AJR Am J Roentgenol* 2001, 176:811–812
 40. TIGGES S, SUTHERLAND D, MANASTER BJ. Do radiologists use the American College of Radiology musculoskeletal appropriateness criteria? *AJR Am J Roentgenol* 2000, 175:545–547
 41. HADLEY JL, AGOLA J, WONG P. Potential impact of the American College of Radiology appropriateness criteria on CT for trauma. *AJR Am J Roentgenol* 2006, 186:937–942
 42. SENATOR PADILLA. *Radiation control: Health facilities and clinics: Records*. Senate Bill no 1237, State Department of Public Health, California, 2010
- Corresponding author:*
- A. Morfonios, 2 Triggeta street, GR-176 72 Kallithea, Greece
e-mail: amorfon@nurs.uoa.gr