

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΛΕΓΧΟΥ (TEST TOOL) ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΣΕ ΟΡΘΟΠΑΝΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥΣ

Γ. Μανουσαρίδης, Κ. Χουρδάκης, Β. Καμενοπούλου
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας
ΤΘ 60092, 15310 Αγία Παρασκευή
gmanous@eeae.gr

Περίληψη

Οι ορθοπαντομογράφοι είναι ακτινογραφικά συστήματα με αντικείμενο την απεικόνιση των γνάθων ή τμημάτων τους. Η απεικόνιση γίνεται με μια σύνθετη κίνηση μιας δέσμης ακτίνων X μικρού πλάτους (5-10mm) και του απεικονιστικού συστήματος γύρω από τη γνάθο του ασθενή. Η τεχνική που συνήθως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του πλάτους της δέσμης είναι η τοποθέτηση ακτινογραφικού φιλμ ή αντίστοιχου μέσου μπροστά στο σύστημα απεικόνισης και μέτρηση του πλάτους της αμαύρωσης που προκαλείται από τη δέσμη.

Το προτεινόμενο αντικείμενο ελέγχου δίνει τη δυνατότητα μέτρησης του πλάτους και της θέσης της δέσμης χρησιμοποιώντας το ίδιο το απεικονιστικό σύστημα του ορθοπαντομογράφου. Σε ένα επίπεδο ακτινοσκιερό υλικό δημιουργείται δύο διατάξεις οπών μικρής διαμέτρου σε μια γραμμή υπό γωνία σε σχέση με τον άξονα της δέσμης. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οπών είναι σταθερή (της τάξης του 1mm ή μικρότερη), ενώ η κάθετη απόσταση τέτοια ώστε να είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο των οπών. Οι δύο διατάξεις ξεκινούν από τον ονομαστικό άξονα της δέσμης και εκτείνονται δεξιά και αριστερά του. Η απεικόνιση του αντικειμένου δίνει δύο ομάδες παράλληλων γραμμών ο αριθμός των οποίων αντιπροσωπεύει το πλάτος της δέσμης ενώ η διαφορά του αριθμού των γραμμών των δύο ομάδων δείχνει την πραγματική θέση του κέντρου της σε σχέση με την ονομαστική. Επιπλέον οπές στα άκρα του αντικειμένου επισημαίνουν τυχόν σφάλμα (γωνιακή απόκλιση) κατά την τοποθέτηση. Εναλλακτικά, το αντικείμενο μπορεί να κατασκευαστεί από μη ακτινοσκιερό υλικό και λεπτά μεταλλικά σύρματα αντί των οπών.

Με τη χρήση του αντικειμένου αυτού μπορεί να γίνει τοποθέτηση του οργάνου μέτρησης με μεγάλη ακρίβεια στο κέντρο της δέσμης ώστε να είναι αξιόπιστες οι μετρήσεις του. Επί πλέον αξιολογείται το πλάτος της δέσμης, ώστε να διαπιστώνεται η συμμόρφωσή του με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ή τις απαιτήσεις της νομοθεσίας. Ακόμη, δίνει τη δυνατότητα της μετατροπής των τιμών air kerma εισόδου (mGy) σε τιμές kerma-μήκους (KLP, mGy*cm) και ακολούθως kerma-επιφάνειας (KAP, mGy*cm²) που συχνά απαντώνται στη βιβλιογραφία ως δοσιμετρικό μέγεθος για τον προσδιορισμό των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς στους ορθοπαντομογράφους.

Λέξεις- κλειδιά: Ορθοπαντομογράφος, έλεγχος ποιότητας, διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς, μέτρηση δόσης.

Abstract

Orthopantomographs are apparatus used to produce a radiographic image of the dental arc or parts thereof. The image is produced by the composite movement of thin (5-10mm) x-ray beam around the patient's head. The technique usually implemented to measure the beam width is to place radiographic film or similar means in front of the image receptor and measure the width of the image produced.

The proposed test object enables the measurement of beam width and position using the imaging system of the orthopantomograph. On a flat radioopaque material two linear arrays of narrow holes are made at an angle with the beam axis. The horizontal distance between the holes is constant (in the order of 1mm or less), while the vertical distance is larger than the hole diameter. The two arrays start from the nominal beam axis and extend to either side. The image produced contains two sets of lines the number of which represents the beam width while the difference of number of each set of lines shows the distance between the center of the test object and this of the x-ray beam. Furthermore, additional holes near the edge of the test object indicate possible angular positioning error. The test object can alternatively be realized using radiotranslucent material and thin metal wires instead of holes.

The use of this test object enables the accurate positioning of a dosimeter at the centre of the beam, leading to more reliable measurements. Also, the beam width can be determined in order to check its compliance with manufacturer specifications or legal requirements. It also allows unit conversion from measured incident air kerma (mGy) to kerma-length product (KAP, mGy*cm) and further to kerma-area product (KAP, mGy*cm²) which are often used in literature as a dosimetric unit for the determination of diagnostic reference levels for orthopantomographs.

Keywords: Orthopantomograph, quality control, dose reference level, dose measurement.

1. Εισαγωγή

Οι ορθοπαντομογράφοι ή αλλιώς πανοραμικά ακτινογραφικά συστήματα είναι μηχανήματα που παράγουν την εικόνα μιας καμπύλης επιφάνειας (της γνάθου) μέσω μιας σύνθετης κίνησης μιας λεπτής δέσμης ακτίνων X γύρω από τη γνάθο του ασθενή. Το πλάτος της δέσμης πρέπει να είναι αρκετά μικρό (τυπικά 5mm) ώστε να επιτευχθεί εικόνα ικανοποιητικής ποιότητας. Επίσης, όσο μικρότερες είναι οι διαστάσεις της δέσμης τόσο καλύτερη είναι η απεικονιστική ικανότητα του συστήματος.

Τόσο η νομοθεσία (Ελληνική Δημοκρατία, 2001), (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, 1999) η διεθνής βιβλιογραφία (National Council on Radiation Protection and Measurements, 2003) όσο και οι κατασκευαστές τέτοιων μηχανημάτων θέτουν προδιαγραφές για τις διαστάσεις της δέσμης αυτής. Συνεπώς η μέτρηση των διαστάσεων αυτών είναι σημαντικό τμήμα του ελέγχου ποιότητας ενός ορθοπαντομογράφου.

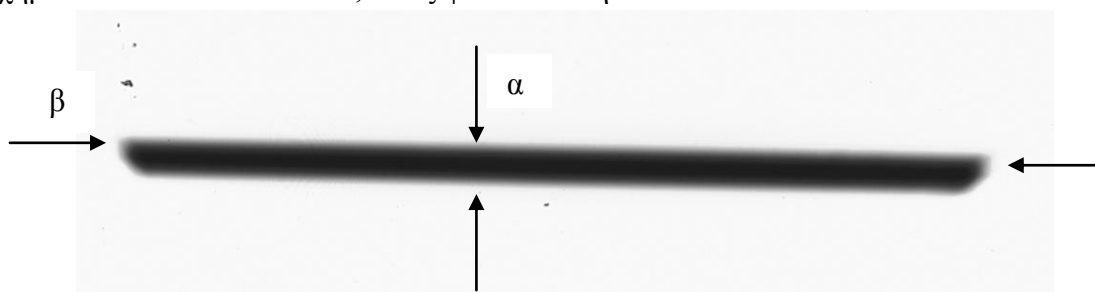
Επίσης, προκειμένου να γίνουν μετρήσεις δοσιμετρικών μεγεθών είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται όργανα μέτρησης με κατάλληλου πλάτους αισθητήρες οι οποίοι θα

πρέπει να τοποθετούνται στο κέντρο της δέσμης ώστε οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες (International Atomic Energy Agency, 2007). Εάν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (θέση, πλάτος) της δέσμης προσδιοριστούν με ακρίβεια, ο αισθητήρας του δοσιμέτρου ή πολυμέτρου θα μπορεί να τοποθετηθεί σωστά.

Το προτεινόμενο αντικείμενο ελέγχου δίνει τη δυνατότητα του ακριβούς προσδιορισμού του κέντρου και του πλάτους της δέσμης χωρίς τη χρήση φιλμ ή άλλου εξωτερικού συστήματος απεικόνισης.

2. Υπάρχουσες μέθοδοι

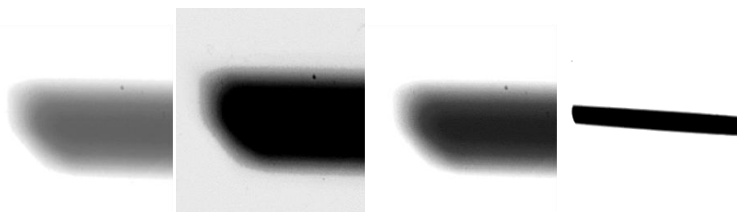
Ο προσδιορισμός του πλάτους της δέσμης γίνεται συνήθως με τη χρήση φιλμ ή άλλου συστήματος απεικόνισης το οποίο τοποθετείται στην είσοδο του συστήματος απεικόνισης του ορθοπαντομογράφου. Η εικόνα που προκύπτει μετά από την ακτινοβολή είναι το σχήμα του πεδίου ακτίνων-X, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Απεικόνιση πεδίου ορθοπαντομογράφου.

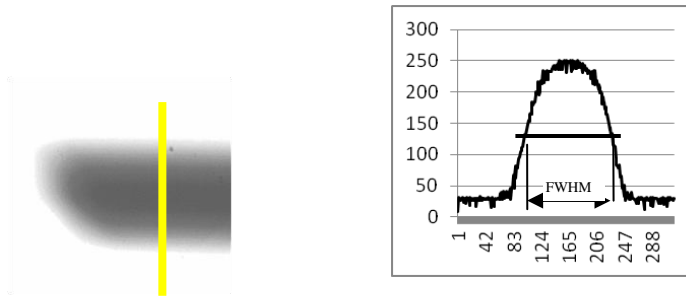
Η μέτρηση του πλάτους της δέσμης (α στην Εικόνα 1) μπορεί να γίνει οπτικά, όμως υπεισέρχεται σημαντικός υποκειμενικός παράγοντας ανάλογα με τις συνθήκες παρατήρησης. Η ίδια εικόνα με διαφορετικές συνθήκες αντίθεσης και φωτεινότητας φαίνεται στην

Εικόνα 2. Είναι προφανές ότι με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η ακρίβεια της μέτρησης.



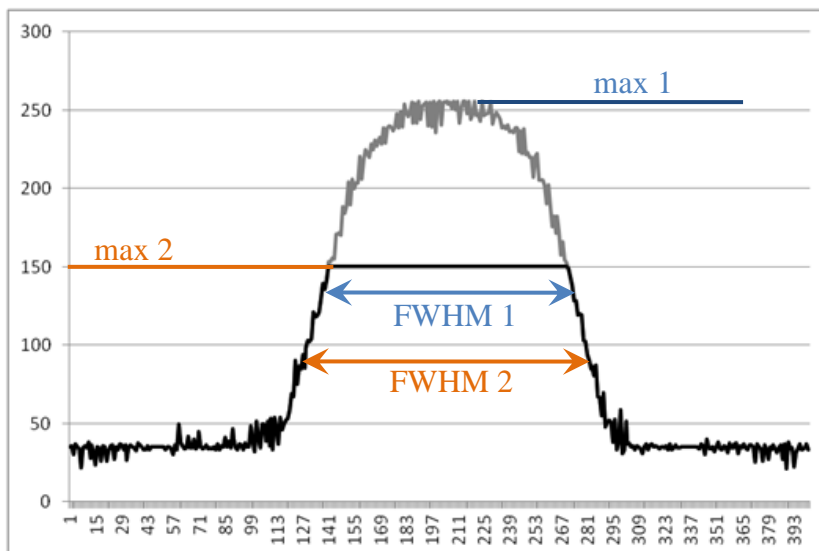
Εικόνα 2. Ασάφεια λόγω των συνθηκών παρατήρησης.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να βελτιστοποιηθεί αν ψηφιοποιηθεί η εικόνα μέσω του προφίλ της δέσμης. Το πλάτος της προσδιορίζεται έτσι ως το πλάτος στο ήμισυ του μεγίστου (FWHM) όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3):



Εικόνα 3. Μέτρηση πλάτους μέσω ψηφιακά επεξεργασμένης εικόνας

Είναι προφανές ότι προκειμένου να υπάρξει ακριβής μέτρηση του πλάτους θα πρέπει να γίνει έκθεση, εμφάνιση, ψηφιοποίηση και επεξεργασία της εικόνας, μια αρκετά χρονοβόρα και εργασιοβόρα διαδικασία. Σε περίπτωση που η αμαύρωση φθάσει στον κορεσμό (υπερέκθεση φιλμ), όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4) δεν είναι δυνατή η μέτρηση του πάχους τομής.



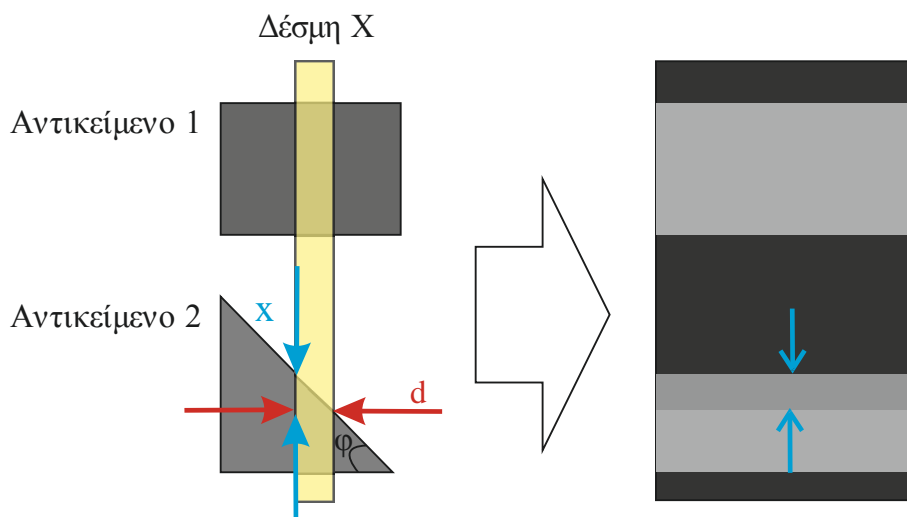
Εικόνα 4. Σφάλμα λόγω κορεσμού του συστήματος απεικόνισης (μαύρη γραμμή). Η γκρίζα γραμμή απεικονίζει τη κατανομή της αμαύρωσης σε σωστές συνθήκες έκθεσης.

2. Προτεινόμενη μέθοδος

Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιεί ένα αντικείμενο ελέγχου και το απεικονιστικό σύστημα του ορθοπαντομογράφου για να δώσει την ίδια πληροφορία για τις διαστάσεις της δέσμης, χωρίς να απαιτείται εξωτερικό απεικονιστικό σύστημα και περαιτέρω επεξεργασία.

2.1. Αρχή μεθόδου

Η μέθοδος εκμεταλλεύεται τον τρόπο με τον οποίο σχηματίζεται η ακτινογραφική εικόνα από τον ορθοπαντομογράφο, δηλαδή τη σάρωση μιας επιφάνειας με μια λεπτή δέσμη ορισμένου πλάτους. Εισάγοντας ένα αντικείμενο οι διαστάσεις του οποίου μεταβάλλονται σε κατά πλάτος της δέσμης, τοποθετημένο μπροστά από το σύστημα απεικόνισης, παράγουμε μια εικόνα που μεταβάλλεται ανάλογα με το τμήμα του απεικονιζόμενου αντικειμένου που περιέχεται στο πεδίο των ακτίνων X. Στην Εικόνα 5, ένα τμήμα του αντικειμένου 2 που ακτινοβολείται, απεικονίζεται με διαφορετική αμαύρωση σε σύγκριση με ένα αντικείμενο όπως το αντικείμενο 1 το οποίο δε διαφοροποιείται σε σχέση με τη δέσμη. Το ζητούμενο πλάτος της δέσμης d εξαρτάται από την το πλάτος της απεικονιζόμενης ζώνης x και τη γωνία φ ως εξής: $d = \frac{x}{\tan \varphi}$



Εικόνα 5. Αρχή της μεθόδου. Επισημαίνεται η περιοχή του αντικειμένου 2 που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του πλάτους της δέσμης.

2.2. Αντικείμενο

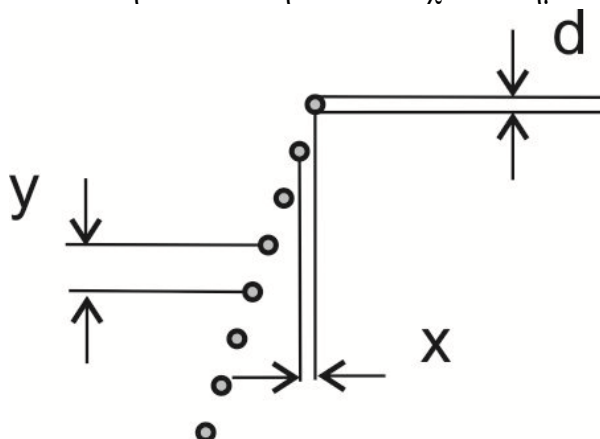
Το αντικείμενο ελέγχου θα πρέπει να εκμεταλλεύεται αυτή την αρχή με τρόπο ώστε να είναι εύχρηστο και να δίνει άμεσα και ευανάγνωστα αποτελέσματα. Τα ζητούμενα είναι:

- Να μετρηθεί το πλάτος της δέσμης.
- Να μπορεί να προσδιοριστεί η θέση της δέσμης.
- Να υπάρχει τρόπος ώστε να διορθωθεί τυχόν γωνιακή απόκλιση από τον άξονα της δέσμης.

2.2.1 Μέτρηση πλάτους.

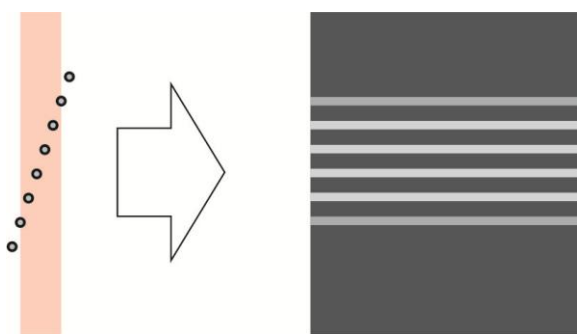
Η μέτρηση του πλάτους επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ακτινοσκιερών σημείων με διάταξη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 6). Στη διάταξη αυτή, που

δημιουργείται με αντικείμενα μικρού πλάτους d (διαμέτρου της τάξης του 1mm) τοποθετημένα σε σταθερή και καθορισμένη απόσταση x μεταξύ τους κατά τον οριζόντιο άξονα (1mm στο πρωτότυπο) και απόσταση y στον κατακόρυφο άξονα τέτοια ώστε να είναι μεγαλύτερη από $2d$ ώστε η απεικόνιση δύο διαδοχικών σημείων να είναι ευδιάκριτη.



Εικόνα 6. Μέτρηση πλάτους δέσμης.

Η απεικόνιση του αντικειμένου όταν τοποθετηθεί στην είσοδο του συστήματος απεικόνισης του ορθοπαντομογράφου φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Απεικόνιση του αντικειμένου μέτρησης πλάτους δέσμης.

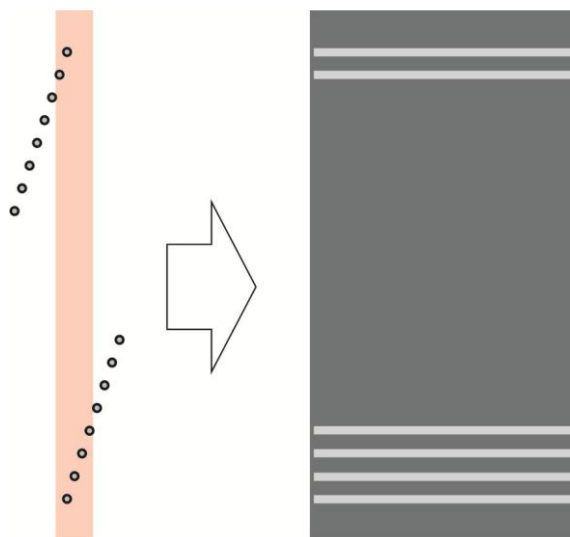
Ο αριθμός των γραμμών που απεικονίζονται αντιστοιχεί στο πλάτος της δέσμης σε χιλιοστά. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η πρώτη και η τελευταία γραμμή απεικονίζουν αντικείμενα που βρίσκονται στα όρια της δέσμης και συνεπώς απεικονίζονται λιγότερο έντονα. Θεωρώντας ότι τα ακτινοσκοπεύα αντικείμενα που βρίσκονται στα όρια της δέσμης απεικονίζονται με διαφορετική αμύρωση σε σχέση με τα υπόλοιπα, το πλάτος της δέσμης που βλέπουμε παραπάνω είναι 5mm (4 ευκρινείς γραμμές που αντιστοιχούν σε 4mm και δύο λιγότερο ευκρινείς που αντιστοιχούν σε 0,5mm). Επισημαίνεται ότι η αβεβαιότητα της μέτρησης εξαρτάται από τη διάμετρο d των ακτινοσκοπεύων σημείων και την οριζόντια απόστασή τους x . Τροποποιώντας τις διαστάσεις αυτές μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

2.2.2. Θέση της δέσμης

Ένα αντικείμενο όπως το παραπάνω δε μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια τη θέση της δέσμης. Μια μετακίνησή του δεξιά ή αριστερά δεν αλλάζει την τελική εικόνα.

Προκειμένου να προσδιορίσουμε τη θέση της δέσμης σε σχέση με τη θέση του αντικειμένου αυτό τροποποιείται με τον τρόπο που φαίνεται στην

Εικόνα 8. Δημιουργούνται δυο ομάδες σαν αυτές που περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο οι οποίες εκτείνονται δεξιά και αριστερά από τον ονομαστικό άξονα της δέσμης. Με τον τρόπο αυτό, τυχόν απόκλιση της δέσμης προς τη μια κατεύθυνση (δεξιά στο παράδειγμα) οδηγεί σε διαφορετικό αριθμό γραμμών στο πάνω και κάτω μέρος της εικόνας.



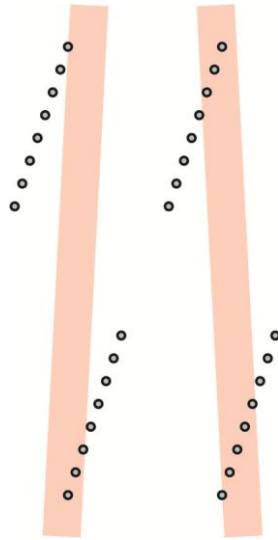
Εικόνα 8. Προσδιορισμός θέσης της δέσμης.

Το πλάτος d της δέσμης είναι, αν v ο αριθμός των γραμμών, $d=(v-1)*x$, όπου v ο αριθμός των γραμμών και x η προβαλλόμενη στον οριζόντιο άξονα απόσταση δύο σημείων. Αφαιρείται μία γραμμή καθώς η πρώτη και η τελευταία γραμμή αντιστοιχούν στο ίδιο σημείο (τον άξονα της δέσμης).

Για να τοποθετηθεί στο κέντρο της δέσμης, το αντικείμενο θα πρέπει να μετακινηθεί σε απόσταση $\delta=(v_2-v_1-1)*x$ αριστερά, όπου v_1 και v_2 ο αριθμός των γραμμών της κάθε ομάδας.

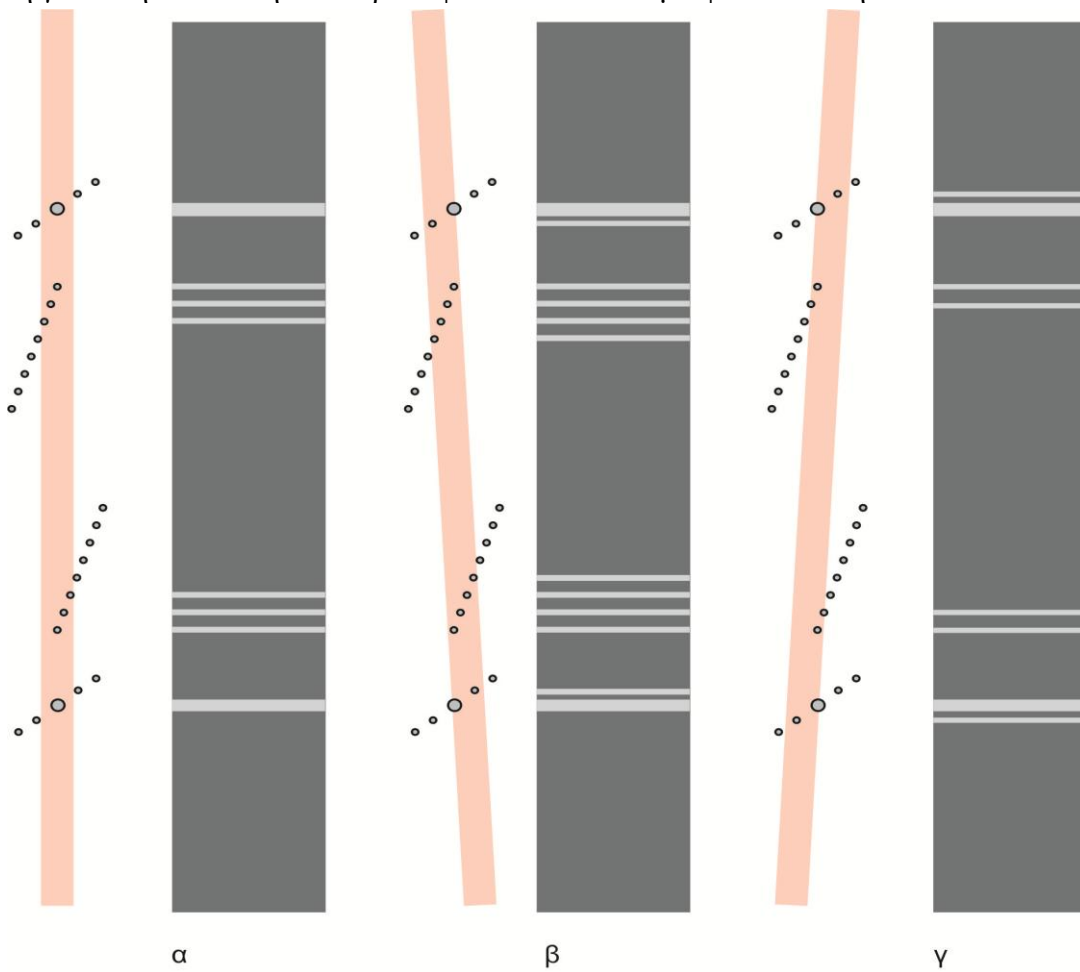
2.2.3. Γωνιακή απόκλιση.

Τυχόν γωνιακή απόκλιση του άξονα του αντικειμένου όπως έχει περιγραφεί ως τώρα μπορεί να δώσει λάθος αποτελέσματα. Παράδειγμα φαίνεται με απόκλιση 3° δεξιόστροφα και αριστερόστροφα στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9. Σφάλμα λόγω γωνιακής απόκλισης.

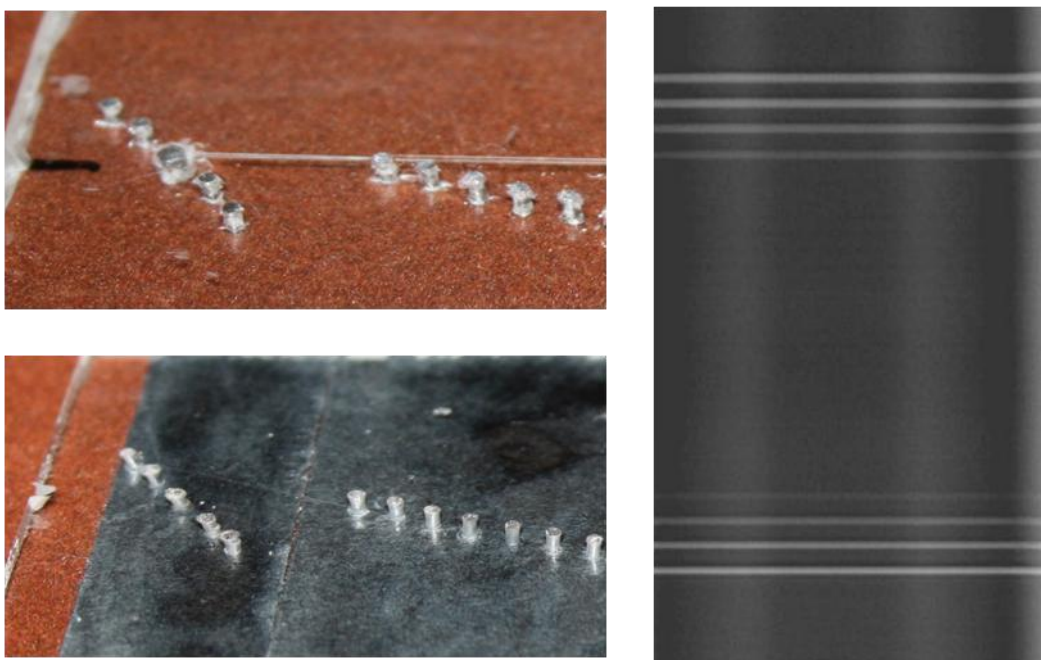
Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, τοποθετούνται στα άκρα του αντικειμένου ελέγχου δύο επιπλέον ομάδες ακτινοσκοπιών σημείων ώστε να εμφανίζουν τη γωνιακή απόκλιση όταν προκύψει. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10. Αντικείμενο ελέγχου πλάτους, θέσης και γωνίας της δέσμης. Σωστή τοποθέτηση (α), αριστερόστροφη απόκλιση (β), δεξιόστροφη απόκλιση (γ).

2.3. Εφαρμογή

Το αντικείμενο ελέγχου μπορεί να κατασκευαστεί είτε δημιουργώντας οπές σε ένα ακτινοσκιερό υλικό (π.χ. λεπτό φύλλο μολύβδου) είτε τοποθετώντας ακτινοσκιερά αντικείμενα σε ένα ακτινοδιαπερατό υπόστρωμα (π.χ. μεταλλικά σύρματα σε ακρυλικό φύλλο). Φωτογραφίες των πρωτοτύπων αντικειμένων φαίνονται στην Εικόνα 11, όπως επίσης και πανοραμική ακτινογραφία με χρήση του αντικειμένου για μέτρηση του πλάτους της δέσμης. Σύγκριση των μετρήσεων του πλάτους της δέσμης με τη μέθοδο αυτή με εκείνες με χρήση φιλμ δείχνουν σύμπτωση αποτελεσμάτων.



Εικόνα 11. Πρωτότυπα του αντικειμένου ελέγχου με μεταλλικά σύρματα σε υπόστρωμα PMMA (επάνω αριστερά) και με οπές σε λεπτά φύλλα μολυβδου (κάτω αριστερά). Δεξιά η απεικόνιση του αντικειμένου από ορθοπαντομογράφο.

3. Συμπεράσματα-συζήτηση

Το προτεινόμενο αντικείμενο ελέγχου δίνει τη δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού της θέσης και της διάστασης της δέσμης ακτινών X του ορθοπαντομογράφου. Η ακρίβεια τη μέτρησης εξαρτάται μόνο από την πυκνότητα της διάταξης των οπών (ή ακτινοσκιερών αντικειμένων) και μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Στην πράξη, η ακρίβεια 0,5mm που επιτυγχάνεται από το πρωτότυπο είναι επαρκής, μπορεί όμως να βελτιωθεί αν κριθεί απαραίτητο με πυκνότερη διάταξη των αντικειμένων και μείωση της διατομής τους.

Η μέτρηση δεν εξαρτάται από τις συνθήκες ακτινοβόλησης και αμαύρωση του φιλμ, καθώς δεν απαιτεί ξεχωριστό φιλμ. Η εικόνα ενδέχεται να είναι δυσδιάκριτη μόνο σε πολύ υψηλές τιμές δόσης.

Η μέτρηση βασίζεται στο υπάρχον σύστημα απεικόνισης, είτε ψηφιακό είτε φιλμ και συνεπώς είναι άμεση, καθώς δεν απαιτεί εμφάνιση και ψηφιοποίηση ξεχωριστού φιλμ για μέτρηση FWHM.

Με τη μέθοδο που προτείνεται, το αντικείμενο αυτό διευκολύνει και απλοποιεί τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις ισχύουσες τεχνικές προδιαγραφές ή απαιτήσεις τη νομοθεσίας. Επίσης δίνει πληροφορίες για τη θέση της δέσμης, διευκολύνοντας έτσι τη σωστή τοποθέτηση οργάνων μέτρησης των χαρακτηριστικών της δέσμης ακτινών X (πολύμετρο, δοσίμετρο) στη σωστή θέση στο πεδίο, δηλαδή σε ομοιογενή περιοχή στο κέντρο του ώστε οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες.

Η αβεβαιότητα της μέτρησης, όπως προαναφέρθηκε, εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των απεικονιζόμενων αντικειμένων, δηλαδή τη διάμετρο και την απόστασή τους στον οριζόντιο άξονα. Θεωρητικό όριο της αβεβαιότητας είναι η διακριτική ικανότητα του συστήματος απεικόνισης (διαστάσεις pixel), οι απαιτήσεις όμως στην πράξη δεν αναμένεται να είναι τόσο αυστηρές.

Βιβλιογραφία

International Atomic Energy Agency. 2007. *Dosimetry in diagnostic radiology, an international code.* Vienna : IAEA, 2007. Technical Report Series TRS 457.

National Council on Radiation Protection and Measurements. 2003. *Radiation protection in dentistry (report no. 145).* Bethesda : NCRP, 2003.

Ελληνική Δημοκρατία. 2001. Κανονισμός Ακτινοπροστασίας. *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.* Υπ Αποφ Αρ. 1014(ΦΟΡ)94, 2001, Vol. Β, 216.

Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης. 1999. *Ιατρικές ηλεκτρικές συσκευές.* Αθήνα : ΕΛΟΤ, 1999. EN 60601-1-3.