

Ψηφιακή αφαιρετική ακτινογραφία - Γενικές αρχές - Εφαρμογή στην Οδοντιατρική

Μ. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ¹, Α. ΚΟΝΔΥΛΙΔΟΥ², Ν. ΠΑΡΙΣΗΣ³
Εργαστήριο οδοντοφατνιακής Χειρουργικής, Χειρουργικής Εμφυτευματολογίας και Ακτινολογίας
Τμήμα Οδοντιατρικής του Α.Π.Θ.

Digital subtraction radiography - General principles - Practice in Dentistry

Μ. GIANNOPOULOU¹, Α. KONDILIDOU², Ν. PARISSIS³
Dept. Dentoalveolar Surgery, Implantology, Radiology, School of Dentistry, Aristotle University of Thessaloniki.

Περίληψη

Η ψηφιακή αφαιρετική τεχνική αποτελεί ένα αξιόπιστο διαγνωστικό μέσο στην οδοντιατρική. Τα τελευταία χρόνια, κυκλοφορούν προγράμματα για Η.Υ., όπως είναι το EMAGO, το DSR, το ISR/C, το Microstation(Bentley) και το DIGORA, τα οποία με διορθωτικούς αλγορίθμους (συνήθως τον αφινικό και τον προβολικό), έχουν τη δυνατότητα να επεξεργαστούν την εικόνα μη συγκρίσιμων ακτινογραφημάτων που έχουν ληφθεί με την παράλληλη τεχνική και έτσι, να αναπαράγουν ένα ζεύγος ακτινογραφημάτων με παρόμοια γεωμετρική προβολή(ταυτοποίηση ακτινογραφιών). Απαραίτητη, επίσης, προϋπόθεση για την πραγματοποίηση της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας αποτελεί η εξασφάλιση της παρόμοιας πυκνότητας μεταξύ των δύο ακτινογραφημάτων. Η ψηφιακή αφαιρετική ακτινογραφία βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της οδοντιατρικής (νόσοι του περιοδοντίου, εμφυτευματολογία). Τέlow, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ψηφιακή αφαιρετική τεχνική δεν αντικαθιστά το κοινό ακτινογράφημα. Απλώς, συμβάλλει στη διάγνωση συμπληρώνοντας τις πληροφορίες που το κοινό ακτινογράφημα δίνει.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ψηφιακή αφαιρετική ακτινογραφία, τεχνική, εφαρμογές.

Summary

Digital subtraction radiography is a very useful and truthful radiographic technique, used in dentistry. It is used to determine success or failure of a particular treatment by detecting the subtle changes in alveolar bone. The premise is quite simple. A radiographic image is generated before particular treatment is performed. At some time after treatment another image is generated. Today there are many specialized programs of computers like EMAGO, DSR, IRS/C, Microstation (Bentley) and DIGORA used in clinical practice. These programs with corrective algorithms (affine, projective) compare the two radiographic images pixel by pixel. The resultant image shows only the changes that have occurred and subtracts those components of the image, which are unchanged. The magnitude of the changes can then be measured by evaluating the histogram (graphic depiction of the distribution of grey levels). Techniques have been developed, however, to correct differences in image contrast and projection geometry. Digital subtraction radiography has been reported to be useful in the diagnosis of periodontal and carious lesions. It is also used in implantology, in bone densitometry, in temporomandibular joint function and in forensic dentistry. It is an established modality in dental research, but is infrequently used in routine clinical practice. Digital subtraction radiography is in dental practice very demanding, because of the requirement for identical alignment of the x-ray machine, teeth, and film on each occasion. Finally, we recommend that digital subtraction radiography should not replace the conventional radiography. It simply provides more accurate information.

KEY WORDS: Digital subtraction radiography, technique, uses.

Στάλθηκε στις 14.4.2005. Εγκρίθηκε στις 10.5.2005.

¹ Οδοντίατρος, μεταπτυχιακή φοιτήτρια

² Λέκτορας

³ Αναπληρωτής Καθηγητής

Received on 14th April, 2005. Accepted on 10th May, 2005.

¹ Dentist

² Lecturer

³ Assoc. Professor

Εισαγωγή

Η αφαιρετική ακτινογραφία είναι το αποτέλεσμα μίας τεχνικής, σύμφωνα με την οποία δύο συγκρίσιμα ακτινογραφήματα που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο, αφαιρούνται τα κοινά χαρακτηριστικά τους, και αποκαλύπτονται τυχόν μικρές μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές θα ήταν πολύ δύσκολο να εντοπιστούν με το κοινό ακτινογράφημα. Ο Ziedes des Plantes (1935) εισήγαγε την αφαιρετική ακτινογραφία¹. Στην περίπτωση αυτή αναφερόμαστε στο αφαιρετικό σύστημα 1ης γενεάς² (Πίνακας I).

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Ταξινόμηση των τεχνικών αφαίρεσης

1 ^η γενεά	2 ^η γενεά	3 ^η γενεά
Λήψη ακτινογραφήματων	Λήψη ακτινογραφήματων	Ψηφιακή λήψη ακτινογραφήματων
Χειροκίνητη ευθυγράμμιση	Χειροκίνητη ευθυγράμμιση	Ψηφιακή ευθυγράμμιση
Χειροκίνητη αφαίρεση	Ψηφιακή αφαίρεση	Ψηφιακή αφαίρεση

Με την είσοδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών και με τη δυνατότητα της μετατροπής του ακτινογραφήματος σε ψηφιακή εικόνα, άρχισε η ανάπτυξη της τεχνικής της ψηφιακής αφαιρετικής για τη μελέτη μικρών οστικών μεταβολών του φατνιακού οστού, οι οποίες δεν είναι ορατές και, συνεπώς, δεν μπορούν να διαγνωστούν με τα κοινά ακτινογραφήματα. Στην περίπτωση αυτή αναφερόμαστε στο αφαιρετικό σύστημα 2^{ης} γενεάς (Πίνακας I). Το σύστημα λειτουργίας είναι παρόμοιο με αυτό της 1^{ης} και βασίζεται στη λήψη συγκρίσιμων ακτινογραφήματων, με σταθερές συνθήκες λήψης, που εξασφαλίζουν επαναλαμβανόμενη, σταθερή σχέση μεταξύ πηγής ακτινοβολίας, αντικειμένου και ακτινογραφικού πλακιδίου. Η ευθυγράμμιση των ακτινογραφήματων γίνεται με χειροκίνητα μέσα, όπως και σ' αυτήν της 1^{ης} γενεάς. Όσον αφορά την εξασφάλιση της παρόμοιας γεωμετρικής προβολής αρκετές ήταν οι μέθοδοι που περιγράφηκαν. Μία από αυτές αποτελεί ο συνδυασμός ειδικών συγκρατητήρων της παραλλήλου τεχνικής που σταθεροποιούνται στο φραγμό με κοινό αποτυπωτικό υλικό³. Μία άλλη μέθοδο αποτέλεσε η χρήση κεφαλοστάτη και η ταυτόχρονη αυξημένη απόσταση μεταξύ πηγής και ακτινογραφικού πλακιδίου⁴. Προτάθηκαν, ακόμη, και ηλεκτρονικά κατευθυνόμενα συστήματα ευθυγράμμισης βασισμένα σε ειδικούς σένσορες⁷. Ακολουθεί η ψηφιοποίηση των ακτινογραφήματων με τη βοήθεια σαρωτή, η εξασφάλιση παρόμοιας πυκνότητας αυτών με την εξισορρόπηση του ιστογράμματος και, τέλος, η ψηφιακή αφαίρεση

τους. Η ανάλυση της εικόνας από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, δίνει τη δυνατότητα στην ψηφιακή αφαιρετική να εμφανίσει με μεγαλύτερη ευκρίνεια την ίδια πληροφορία, που δεν είναι, όμως, ορατή στο κοινό ακτινογράφημα⁸. Η τεχνική αυτή μπορεί να αποκαλύψει ακόμη και μεταβολές πάχους του φλοιώδους οστού της τάξεως των 0.12 mm, σε αντίθεση με το κοινό ακτινογράφημα, το οποίο αποκαλύπτει μεταβολές μεγαλύτερες των 0.85 mm⁹.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αναφορά της τεχνικής της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας, καθώς και οι εφαρμογές της στην οδοντιατρική κλινική πράξη.

Τεχνική της ψηφιακής αφαιρετικής

Στο εργαστήριο της Ακτινολογίας στο Α.Π.Θ. εφαρμόζεται το αφαιρετικό σύστημα 3^{ης} γενεάς¹⁰ (Πίνακας I). Η λειτουργία του συστήματος αυτού βασίζεται στην άμεση λήψη της ψηφιακής ακτινογραφίας με την χρήση CCD υποδοχέων. Οι αισθητήρες αυτοί προσαρμόζονται στους συγκρατητήρες της παράλληλης τεχνικής και λαμβάνονται τα ακτινογραφήματα. Η εικόνα εμφανίζεται αμέσως στην οθόνη του υπολογιστή. Η ευκολία χρήσης του συστήματος και η ταχύτητα εμφάνισης της εικόνας είναι μερικοί από τους παράγοντες που έχουν συμβάλλει στην αύξηση της εφαρμογής της τεχνικής στην κλινική οδοντιατρική πράξη^{11,12}. Τη θέση των CCD υποδοχέων μπορεί να λάβουν οι πλάκες φωσφόρου, οι οποίες στη συνέχεια τοποθετούνται σε σαρωτή και μέσα σε 30 sec εμφανίζεται η εικόνα στην οθόνη (Εικ., 1α-1β). Ακόμη και με την εφαρμογή της τεχνικής της παραλλήλου οι δύο ακτινογραφίες, που απέχουν χρονικά η μία από την άλλη, δεν είναι απόλυτα συγκρίσιμες, καθώς παρουσιάζουν διαφορετική γεωμετρία. Ο Shroul και οι συνεργάτες¹⁵ σε in vitro έρευνα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι διαφορά 5° ως προς τη γωνία



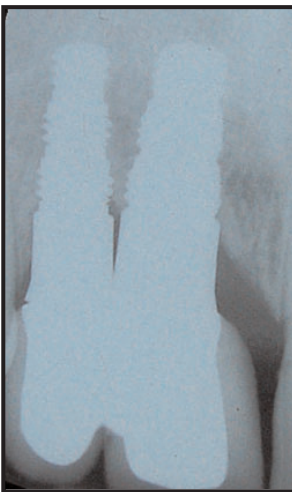
Εικ. 1α- Αρχική ακτινογραφία.



Εικ. 1β-Λήψη ακτινογραφίας 1 χρόνο μετά.

λήψης είναι αποδεκτή, εφόσον τα φιλμ ψηφιοποιούνται με ανάλυση της τάξης των 50 μm ή 600 dpi.

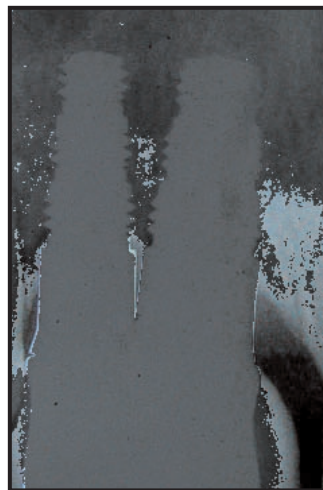
Προκειμένου να εφαρμοσθεί η ψηφιακή αφαιρετική θα πρέπει να ταυτοποιηθούν, δηλαδή να στραφεί και να συμπέσει σχεδόν απόλυτα η μία με την άλλη. Η διαδικασία αυτή γίνεται ψηφιακά και επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του προγράμματος IRS/C και Microstation της Bentley. Το πρόγραμμα αυτό μας επιτρέπει να επιλέξουμε 8 ή περισσότερα σταθερά και ευδιάκριτα σημεία στην κάθε ακτινογραφία που είναι ίδια και παραμένουν αμετάβλητα όπως (Εικ. 1γ, 1δ, 1ε), η 3^η και 5^η σπείρα του εμφυτεύματος ή η αδαμαντινο-οστεϊνική ένωση κ.λ.π. Η επιλογή του μοντέλου που προτιμούμε (και λαμβάνοντας υπόψη τα σταθερά, στις δύο ακτινογραφίες, σημεία που επιλέχθηκαν) είναι το προβολικό, γιατί αυτό αναπαράγει το μοντέλο της λήψης μιας ακτινογραφίας. Στη συνέχεια, το λογισμικό παρουσιάζει την ανασχηματισμένη εικόνα και στο νέο πλέον ζεύγος εικόνων εφαρμόζουμε την ψηφιακή αφαιρετική τεχνική (Εικ. 1στ). Βέβαια σε κάθε μετασχηματισμό ενυπάρχει λάθος το οποίο, όμως, στην προκειμένη περίπτωση είναι μετρήσιμο και αποδίδεται αριθμητικά. Μπορεί δε να μει-



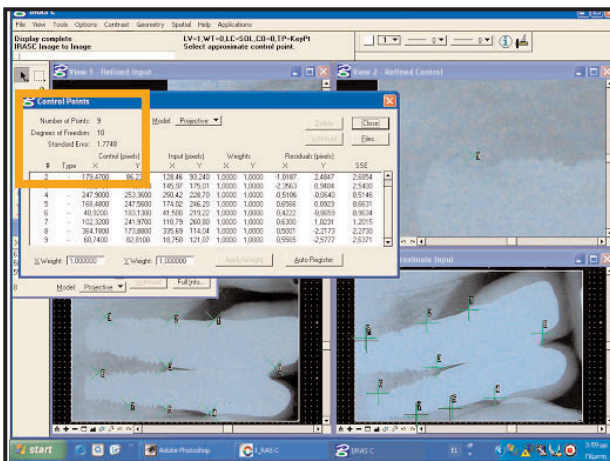
Εικ. 1γ- Η αρχική, έπειτα από γεωμετρικό μετασχηματισμό.

Control Points			
Number of Points:		9	
Degrees of Freedom:		10	
Standard Error:		1,7748	
		Control (pixels)	
#	Type	X	Y
2	-	179,4700	86,2

Εικ. 1ε- Ο γεωμετρικός μετασχηματισμός εμπεριέχει την πιθανότητα λάθους, το οποίο με τη βοήθεια του λογισμικού εμφανίζεται αριθμητικά και ελαττώνεται με την καλύτερη επιλογή σημείων.



Εικ. 1στ- Αποτέλεσμα έπειτα από εφαρμογή της ψηφιακής αφαιρετικής τεχνικής.



Εικ. 1δ- Ο γεωμετρικός μετασχηματισμός επιτυγχάνεται έπειτα από προεπιλογή σημείων.

ωθεί με την επιλογή περισσότερων σημείων και βέβαια ανάλογα με την τάξη μεγέθους των μεταβολών που μελετούμε. Π.χ. αν έχουμε σφάλμα μετασχηματισμού της τάξης του 0,1 mm και μελετούμε μεταβολές της τάξης των 5 mm, ενδεχομένως, να είναι αποδεκτό αυτό το σφάλμα. Αν δε μειώσουμε σχολαστικά το λάθος, υπάρχει περίπτωση οι διαφορές που εμφανίζονται από την εφαρμογή της αφαιρετικής να οφείλονται σ' αυτό και όχι στις πραγματικές μεταβολές της κατάστασης των ιστών, λόγω του χρονικού διαστήματος ή της θεραπείας που μεσολάβησε ανάμεσα στις δύο ακτινογραφίες.

Απαραίτητη, επίσης, προϋπόθεση για την πραγματοποίηση της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας είναι η εξασφάλιση παρόμοιας πυκνότητας και αντίθεσης στο ζεύγος των ακτινογραφιών². Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του Η.Υ. με την εξισορρόπηση του ιστογράμματος στο ζεύγος των εικόνων. Τροποποιείται, δηλαδή, το ιστογράμμα του δεύτερου ακτινογραφήματος και συσχετίζεται με του πρώτου. Οι ιδανικότεροι αλγόριθ-

μοι ιστογράμματος που βρίσκουν εφαρμογή στην καθημερινή κλινική πράξη είναι αυτοί του του Rüttimann¹⁶. Τέλος, είναι δυνατό στην τελική εικόνα της αφαίρεσης να προστεθούν ψευδοχρώματα που βοηθούν, κατά κάποιο τρόπο, την ερμηνεία της εικόνας¹¹.

Εφαρμογές της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας στην Οδοντιατρική

Η αυξημένη εγκυρότητα και ακρίβεια της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας σε σχέση με το κοινό ακτινογράφημα θεωρείται πλέον δεδομένη^{8,17,18}. Συγκεκριμένα, η ψηφιακή αφαιρετική μπορεί να εφαρμοστεί στην οδοντιατρική κλινική πράξη στους παρακάτω τομείς :

α) Οδοντικές μεταβολές.

Η ψηφιακή αφαιρετική συμβάλλει στη διάγνωση, αλλά και στην εντόπιση τερηδόνας^{19,20}, εκτιμώντας τις μεταβολές της πυκνότητας που παρατηρήθηκαν με το πέρασμα του χρόνου. Στην κατηγορία αυτή, συμπεριλαμβάνονται και οι μεταβολές που αφορούν τη ρίζα, όπως για παράδειγμα η εξωτερική²¹ ή εσωτερική απορόφηση²² αυτής.

β) Νόσοι του περιοδοντίου.

Η ψηφιακή αφαιρετική βοηθά στην εντόπιση μικρών οστικών μεταβολών του ύψους φατνιακής απόφυσης^{17,23}, στην παρακολούθηση της εξέλιξης των περιοδοντικών βλαβών^{18,23,24}, καθώς και στην αξιολόγηση της επιτυχίας ή αποτυχίας μιας θεραπείας¹³. Τελευταία, μεγάλη εφαρμογή της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας έγινε στην παρακολούθηση της οστικής ανάπλασης των περιοδοντικών ή ακρορριζικών ιστών σε συνδυασμό με τις τεχνικές ιστικής αναγέννησης⁵.

γ) Εμφυτευματολογία.

Η ψηφιακή αφαιρετική συμβάλλει στον έλεγχο της οστικής ποιότητας και ποσότητας που απαιτείται για την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων, καθώς και στην παρακολούθηση της οστεοενσωμάτωσης μετά την τοποθέτησή τους²⁶. Κριτήρια από την ακτινογραφική εξέταση και επανεξέταση, τα οποία καθορίζουν την επιτυχία ή αποτυχία των οστεοενσωματούμενων εμφυτευμάτων, αποτελούν η παρουσία ή απουσία συνεχούς περιεμφυτευματικής διαύγασης, καθώς και οι αλλαγές στο ύψος της κορυφής της φατνιακής απόφυσης γύρω από τα εμφυτεύματα με την πάροδο του χρόνου. Καταλήγουμε, λοιπόν, ότι η ψηφιακή αφαιρετική απεικονίζει τόσο πολύ μικρές οστικές περιεμφυτευματικές αλλαγές, οι οποίες δεν μπορούν να εντοπιστούν με το κοινό ακτινογράφημα.

δ) Μέτρηση οστικής πυκνότητας²⁷.

Εκτιμώνται οι μεταβολές που αφορούν την συνολική οστική μάζα.

ε) Λειτουργία της κροταφογναθικής άρθρωσης.

Ελέγχεται η φυσιολογική και μη φυσιολογική λειτουργία της κροταφογναθικής άρθρωσης.

στ) Ιατροδικαστική οδοντιατρική.

Η 3^{ης} γενεάς ψηφιακή αφαιρετική ακτινογραφία συμβάλλει ουσιαστικά στην αναγνώριση και ταυτοποίηση των θυμάτων.

Όσον αφορά, τώρα, τη δυνατότητα εφαρμογής της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας στην καθημερινή κλινική πράξη, οι υψηλές απαιτήσεις της τεχνικής αυτής στη λήψη διαδοχικών ακτινογραφημάτων υπό σταθερές συνθήκες, καθώς και το μεγάλο κόστος του συστήματος παραγωγής ψηφιακών αφαιρετικών εικόνων (λογισμικού και ηλεκτρονικού υλικού υψηλής πιστότητας) είχε περιορίσει την ανταπόκρισή της από τους οδοντιάτρους. Σήμερα, όμως, προτείνεται η χρήση προσωπικών υπολογιστών (PC) χαμηλού κόστους για τη μετατροπή του κοινού ακτινογραφήματος σε ψηφιακή εικόνα και ανάλυση της εικόνας στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Προβλέπεται, λοιπόν, ότι κάποια στιγμή τα ψηφιακά συστήματα θα αντικαταστήσουν τις συμβατικές ακτινολογικές τεχνικές .

Συμπεράσματα

Η ψηφιακή αφαιρετική τεχνική αποτελεί ένα αξιόπιστο διαγνωστικό μέσο στην οδοντιατρική. Εφαρμόζεται στην οδοντιατρική κλινική πράξη για την αξιολόγηση της επιτυχίας ή αποτυχίας μετά την εφαρμογή κάποιας θεραπείας επιτρέποντας τη μελέτη πολύ μικρών οστικών μεταβολών του φατνιακού οστού. Απαιτούνται κάποιες προϋποθέσεις για την εφαρμογή της, όπως η λήψη συγκρίσιμων ακτινογραφημάτων με σταθερές συνθήκες λήψης, καθώς και η παρόμοια γεωμετρική προβολή και πυκνότητα που πρέπει να έχουν τα ακτινογραφήματα για την επίτευξη της ηλεκτρονικής αφαίρεσης τους. Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ψηφιακή αφαιρετική τεχνική δεν αντικαθιστά το κοινό ακτινογράφημα. Απλώς, συμβάλλει στην πιο αξιόπιστη διάγνωση συμπληρώνοντας τις πληροφορίες που το κοινό ακτινογράφημα δίνει.

Βιβλιογραφία

1. Ziedes des Plantes BG. Subtraktion: Eine roentgenographische methode zur separaten abbildung bestimmter teile des objects. Fortsch Roentgenstrahlen 1935; 52:69-79.
2. Lehman TM, H-G Gröndahl and DK Benn. Computer-based registration for digital subtraction in dental radiology. Dentomaxillofac radiol 2000; 29:323-46.
3. Pitts N. Filmholding, beam-aiming and collimating devices as an aid to standardization in intra-oral radiography. J Dent 1984; 12:36-46.
4. Jeffcoat MK, Webber RL, Williams RC, Rüttiman UE. Extraoral control of geometry for digital subtraction radiography. J Periodont Res 1987; 22:396-402.

5. Zappa U, Simona C, Graf H, Aken JV. In vivo determination of radiographic projection error produced by a novel film holder and a X-ray beam manipulator. *J Periodontol* 1991; 62:674.
6. Burdea G, Dunn SM, Immendorf CH, Mallik M. Real-time sensing of tooth position for dental digital subtraction radiography. *IEEE Trans Biomed Eng* 1991; 384:366-78.
7. Burdea GC, Dunn SM, Levy G. Evaluation of robot-based registration for subtraction radiography. *Med Image Anal* 1999; 3: 265-74.
8. Dove SB, McDavid WD, Hamilton KE. Analysis of sensitivity and specificity of a new digital subtraction system: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000 Jun; 89(6): 771-6.
9. geometric distortion and exposure parameters on sensitivity of digital subtraction radiography, *J Periodontol Res* 1986; 21:486-95.
10. Versteeg CH, Sanderink GC, van der Stelt PF. Efficacy of digital intra-oral radiography in clinical dentistry. *J Dent* 1997; 25:215-24.
11. Parks ET, Williamson GF. Digital radiography: an overview. *J Contemp Dent Pract.* 2002 Nov 15; 3(4):23-39.
12. Couture RA, Hildebolt C. Quantitative dental radiography with a new photostimulable phosphor system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000 Apr; 89(4): 498-508.
13. Webber RL, Bettermann W. A method for correcting errors produced by variable magnification in three-dimensional tuned-aperture computed tomography. *Dentomaxillofac radiol* 1999; 28:305-10.
14. Yoon DC. A new method for the automated alignment of dental radiograph for digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2000 Jan; 29(1):11-19.
15. Shroud MK, Weaver J, Potter BJ. Spatial resolution and angular alignment tolerance in radiometric analysis of alveolar bone change. *J Periodontol* 1996; 67:41-5.
16. Lehman TM. A two-stage algorithm for model-based registration of medical images. *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition ICPR'98, Brisbane, Australia, 1998; 1:344-51.*
17. Ying SY, Chen X, Zhang G, Cao CF. Detection of small lesions in alveolar bone by digital subtraction radiography. *Clin J Dent Res.* 1999 May; 2(2):19-22.
18. Patricia R. Cury, Ney S. Araujo, Jon Bowie, Enilson A. Sallum, and Marjorie K. Jeffcoat. Comparison between subtraction radiography and conventional radio graphic interpretation during long-term evaluation of periodontal therapy in class II furcation defects. *J Periodontol* 2004; 75:1145-9.
19. Analoui M, Stookey GK. Direct digital radiography for caries detection and analysis. *Monorg Oral Sci.* 2000; 17:1-19.
20. Eberhard J, Hartman B, Lenhard M, Mayer T, Kocher T, Eickholz P. Digital subtraction radiography for monitoring dental demineralization. An in vitro study. *Caries Res.* 2000 May-Jun; 34(3):219-24.
21. Heo MS, Lee SS, Lee KH, Choi HM, Choi SC, Park TW. Quantitative analysis of apical root resorption by means of digital subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001 Mar; 91(3):369-73.
22. Holmes, K. Gulabivala and P. F. van der Stelt. Detection of simulated internal tooth resorption using conventional radiography and subtraction imaging *Dentomaxillofac Radiology* 2001; 30(5):249-54.
23. Rawlinson A, Ellwood RP, Davies RM. An in vitro evaluation of a dental subtraction radiography system using bone chips on dried human mandibles. *J Clin Periodontol* 1999 Mar; 26(3):138-42.
24. Microgeorgis G, Lyroudia K, Molyvdas I, Nikolaidis N, Pitas I. Digital radiograph registration and subtraction: a useful tool for evaluation of the progress of chronic apical periodontitis. *J Endod.* 2004 Jul; 30(7):513-7.
25. Danesh-Meyer MJ, BDS, MDS/ST Chen, BDS, MDSc, FRANCS/TE Rams, DDS, MHS. Digital subtraction radiographic analysis of GTR in human intrabony defects. *Ant J Periodontics Restorative Dent* 2002; 22:441-9.
26. Reddy MS, I-Chung Wang. Radiographic determinants of implant performance. *Adv Dent Res* 1999; 13:136-45.
27. Rawlinson A, Ellwood RP, Davies RM. An in vitro evaluation of a dental subtraction radiography system using bone chips on dried human mandibles. *J Clin Periodontol* 1999; 26:138-42.