

디지털공제방사선촬영술을 이용한 치근단 흡수의 평가

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 치학연구소
허민석 · 이삼선 · 이경희 · 최항문 · 최순철 · 박태원

Assessment of apical root resorption using digital subtraction radiography

Min-Suk Heo, Sam-Sun Lee, Kyung-Hee Lee, Hang-Moon Choi, Soon-Chul Choi, Tae-Won Park
Department of Oral and Maxillofacial Radiology & Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University

ABSTRACT

Purpose : This study was performed to compare the diagnostic ability of conventional intraoral radiographs with that of digital subtraction image and to assess the quantifying ability of digital subtraction image for simulated apical root resorption

Materials and Methods : Conventional intraoral radiographs and digital images of ten sound maxillary central incisors and those with simulated apical root resorption were taken with varying horizontal and vertical angulations of the x-ray beam. The diagnostic accuracy to detect the lesion was evaluated on conventional intraoral radiographs and digital subtraction images by ROC analysis. The amount of simulated apical root resorption was also estimated on the reconstruction images by Emago® and compared with actual amount of tooth loss using paired t-test.

Results : The diagnostic accuracy of conventional intraoral radiographs to detect the apical root resorption was low (ROC area = 0.6446), and the sensitivity and the specificity of digital subtraction images were 100%, respectively. The calculated amounts of apical root resorption showed no statistically significant difference with the actual amounts of the lesion ($p > 0.05$).

Conclusion : Digital subtraction radiography is powerful tool to detect the small apical root resorption, and quantitative analysis of small amounts of the lesion can be evaluated by digital subtraction radiography. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol 2001; 31 : 51-5*)

KEY WORDS : digital dental radiography, subtraction technique, root resorption, quantitative evaluation

서 론

치근단 흡수의 진단은 주로 시간 간격을 두고 촬영된 두 장 이상의 방사선사진을 이용하여 이루어져 왔으나 치근 흡수의 양이 적거나 치근단의 형태 변화가 뚜렷이 관찰되지 않는 경우에는 진단능이 매우 낮고¹ 또한 방사선사진을 판독하는 판독자 간² 및 판독자 내³에서의 일치도가 낮아 정확한 진단이 어렵다.

이와 같은 문제를 극복하고자 디지털영상공제술을 이용하여 치근단 흡수를 진단하는 방법이 소개되었고 여러 문

헌에서 진단능이 향상된다고 보고되었다.^{4,7} 그러나 바람직한 디지털공제영상을 얻기 위해서는 비교할 두 방사선사진의 흑화도와 대조도를 일치시켜야 하고 기하학적 표준화가 이루어져야만 한다.⁸ Ruttiman 등⁹은 영상의 감마 수정을 통하여 흑화도와 대조도를 일치시킬 수 있어 기하학적 표준화 및 재현성을 가지는 영상을 얻는 것이 적절한 디지털공제영상을 얻기 위한 가장 중요한 요소라고 하였다.

Dunn 등^{10,11}은 정확하게 기하학적 표준화가 이루어지지 않은 두 장의 디지털영상에서 4개의 참고점(reference points)을 설정하고 그 위치를 고려하여 영상을 기하학적으로 표준화시킬 수 있다고 하였다. 이러한 연구를 바탕으로 Emago 프로그램이 개발되었는데 두 영상에서 4개의 참고점을 설정하고 그 점들의 위치를 수학적인 계산을 통하여 일치시키는 재구성 영상(reconstructed image)을 형성한 후 이를 이용하여 디지털공제영상을 얻을 수 있게 되었다.¹²⁻¹⁴ Reukers 등¹⁵은 이 프로그램을 이용하여 in vivo 및

* 이 연구는 1999년도 서울대학교 발전기금 일반학술연구비 지원으로 의한 것임.
접수일: 2000년 12월 4일 채택일: 2000년 12월 27일
Correspondence to: Prof. Soon-Chul Choi
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University, 28 Yongon-dong, Chongno-gu, Seoul, Korea, 110-749
Tel) 02-760-3498, Fax) 02-744-3919
E-mail) raychoi@snu.ac.kr

in vitro에서 치근단 흡수의 진단능을 평가한 결과 디지털 공제영상을 이용하여 치근단 흡수를 평가하는 것은 적절하다고 주장하였으나 일반 치근단방사선사진을 이용하여 진단하는 방법과 진단능의 차이를 확인하지 않아 그의 연구에서 설정한 치근단 흡수의 양이 진단능에 어느 정도의 영향을 주는가를 확인할 수 없었다.

본 연구에서는 0.5 mm의 치근단 흡수를 인공적으로 형성한 후 병소를 형성하기 전의 영상과 비교하여 일반 치근단방사선사진을 이용한 경우와 디지털공제영상을 얻은 경우의 진단능을 ROC 분석을 통하여 평가하였다. 또한 각도를 변화시켜 촬영한 두 장의 영상을 이용한 디지털공제 과정에서 얻어지는 재구성 영상에서 치근단 흡수의 양을 정량적으로 평가하여 실제 인공적으로 형성한 병소의 크기와 일치하는지를 평가하였다.

재료 및 방법

1. 방사선사진 촬영

외형이 건전한 10개의 상악 중절치를 선택하여 vernier caliper (Mitutoyo Dial Caliper, Tokyo, Japan)로 길이를 측정하고 한 개의 치아를 두 개의 인접치와 함께 치과용 석고로 제작된 2.8×1.9×1.2 cm 크기의 블록에 매식하여 총 10개의 치아 블록을 얻었다. 인접치로는 상악 중절치, 측절치 혹은 견치를 이용하였으며 가능한 치아의 외형이 건전한 것으로 선택하였다.

각 블록을 본 실험을 위하여 X선원과 필름이나 영상판을 고정된 상태에서 블록의 각도를 자유롭게 수정할 수 있도록 고안된 장치 위에 놓고 방사선사진을 촬영하였다. 촬영 각도는 수평각 및 수직각을 각각 0°와 0°, 0°와 20°, 20°와 0°, 20°와 20°로 변화시켜 일반 치근단방사선사진과 디지털영상을 각각 얻었으며 각 블록마다 수평각 및 수직각이 모두 0°로 촬영된 일반 치근단방사선사진과 디지털영상을 표준영상으로 설정하였다.

매식한 중절치를 발거한 후 치근단 부위를 치과용 bur를 이용하여 vernier caliper로 확인하면서 가능한 정확히 0.5 mm를 삭제하도록 하였으며 삭제할 때에는 치근의 형태를 본래 치아의 형태와 동일하도록 하였고 마지막으로는 입자가 작은 사포로 연마하여 외형으로는 치근단 흡수의 증거를 찾지 못하도록 하였다. 10개의 중절치 모두를 삭제한 후에는 다시 vernier caliper로 치아의 길이를 측정하였으며 삭제하기 전의 치아 길이와 비교하여 실제로 삭제된 정확한 양을 구하였다. 중절치의 삭제 후에는 위와 동일한 조건과 각도로 일반 치근단방사선사진과 디지털영상을 얻었다.

방사선 촬영기로는 Simens사의 Heliodent MD를 이용하였고 관전압 70 kV, 0.13초의 노출조건으로 X선원-블록 간

거리는 35 cm, 블록-필름(또는 영상판) 간의 거리는 3 cm가 유지되도록 하였다. 일반 치근단방사선사진 촬영을 위한 필름은 No. 2 Ektaspeed 필름 (Eastman Kodak Co., Rochester, NY)을, 디지털영상은 Digora® (Soredex Orion Corp., Helsinki, Finland)를 이용하여 얻었다.

촬영된 일반 치근단방사선사진은 Periomat 자동현상기 (Dürr Dental, Germany)를 이용하여 현상하였는데 현상 전에 현상액을 새로 교환한 후 현상하였다.

2. 디지털공제영상 획득

수직각과 수평각이 모두 0°로 촬영된 표준영상과 촬영 각도를 변화시키고 치근단 흡수를 형성하지 않은 경우와 형성한 경우에 촬영된 동일한 블록의 모든 영상과 비교하여 디지털공제영상을 얻었다. 디지털공제영상은 Emago® /Advanced v3.2 (Oral Diagnostic Systems, Amsterdam, The Netherlands)를 이용하여 얻었으며 4인의 판독자가 표준영상과 비교될 영상 각각에서 해부학적으로 관찰이 쉬운 4개의 참고점을 설정한 후 디지털공제영상을 얻도록 하였는데 일반적으로 중절치의 두 개의 우각부 (proximo-incisal angle)와 인접치의 치근단을 설정하도록 유도하였고 얻어진 디지털공제영상에서 치관부와 치근부를 관찰하여 적절하지 못한 디지털공제영상이 얻어진 경우에는 다시 디지털영상공제를 시행하도록 하였다. 본 연구에서 판독자의 자격으로는 서울대학교병원 치과방사선과에서 3년 이상 진단의 경험이 있는 자로 제한하였다.

3. 치근단 흡수의 진단능 평가

4인의 판독자가 얻어진 총 80매의 일반 치근단방사선사진에서 중절치의 흡수를 판독하도록 하여 진단능을 평가하였다. 평가 시에는 각 치아 블록마다 군으로 분류하여 표준영상을 판독자에게 알려주었고 촬영 각도에 차이가 있으므로 수직각 변화에 따른 치아의 길이 차이가 있을 수 있음을 미리 알려주고 표준영상과 비교하여 치근단 흡수의 유무를 평가하도록 하였다. ROC 분석을 위하여 “①. 치근단 흡수가 분명히 있다. ②. 치근단 흡수가 있는 것 같다. ③. 확실하지 않다. ④. 치근단 흡수가 없는 것 같다. ⑤. 치근단 흡수가 분명히 없다.”의 5등급으로 각각의 방사선사진에서 평가하도록 하여 ROC 분석을 시행하였다. ROC 면적과 ROC 곡선의 형태는 ROCKIT software (0.9B, β version, The University of Chicago)를 이용하여 구하였다.

디지털공제영상에서도 치근단 흡수의 유무에 대한 ROC 분석을 시행하였는데 동일한 4인의 판독자가 치근단 흡수의 유무를 위와 마찬가지로 5등급 방법을 이용하여 ROC 분석을 시행하였다.

4. 치아 흡수량 측정

2인의 판독자가 디지털영상공제술 과정에서 얻어지는

재구성 영상에서 중절치의 치근 흡수량을 측정하였다. 치근의 흡수량 측정은 Emago 프로그램을 이용하였는데 재구성 영상에서 치근단 흡수를 형성한 중절치의 길이를 픽셀 값으로 측정하고 표준영상의 중절치 길이의 픽셀 값과 비교하여 그 차이를 구하고 표준영상의 중절치 길이의 픽셀 값에 대한 비율을 구한 후 치근 흡수를 형성하지 않은 본래 치아의 길이, 즉 vernier caliper를 이용하여 측정된 치아의 길이를 곱하여 구하였다. 이와 같은 방법으로 얻어진 치근의 흡수량을 실제 vernier caliper로 측정하여 얻어진 치아의 흡수량과 비교하였고 또한 2인의 판독자에 의하여 얻어진 결과를 서로 비교하여 판독자 간의 차이가 있는지 검증하였다. 모든 통계적인 비교는 유의수준 0.05로 하여 paired t-test로 처리하였다.

연구 성적

일반 치근단방사선사진을 이용하여 치근단 흡수를 판독하도록 한 결과에서 4인의 판독자의 ROC 면적은 각각 0.5081, 0.6427, 0.6618 및 0.7658로 나타났으며 그 평균값은 0.6446으로 진단능이 낮았으며 ROC 곡선은 Fig. 1과 같았다. 디지털공제영상을 이용하여 치근단 흡수를 판독하도록 한 경우에는 모든 판독자가 모든 경우에 정확한 판독을 하여 100%의 민감도와 특이도를 보였고 모든 영상에 대하여 5등급의 판독 기준 중에 1 혹은 5로 판독하였다. 이와 같은 경우에 ROC 면적이 1일 것으로 생각되지만 실제로 ROCKIT 프로그램을 이용한 경우에 이와 같은 경우는 ROC 면적을 구할 수가 없었고 ROC 곡선도 얻을 수 없었다.

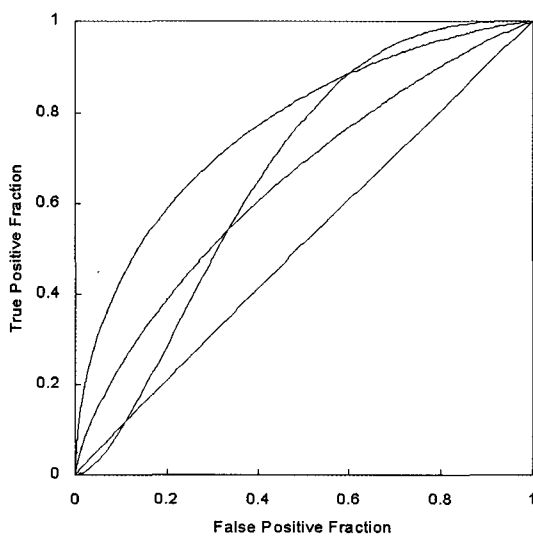


Fig. 1. ROC curves of four observers using conventional periapical radiograph for detection of 0.5 mm apical root resorption. ROC areas were 0.5081, 0.6427, 0.6618, and 0.7658, respectively and the mean value of them was 0.6446.



Fig. 2. Digital subtraction image of the apical root resorption simulated state. Small black area can be seen on the apical root area.

Table 1. In the 0.5 mm apical root resorption simulated state, the mean values of the calculated amounts* of tooth loss by two observers at various angulation (mm ± sd)

Angulation	Observer A	Observer B	Average
H 0°, V 0°	0.4935 ± 0.0697	0.4978 ± 0.0658	0.4957 ± 0.0660
H 0°, V 20°	0.5507 ± 0.1008	0.5168 ± 0.0835	0.5338 ± 0.0917
H 10°, V 0°	0.4957 ± 0.0873	0.5187 ± 0.1200	0.5072 ± 0.1014
H 10°, V 20°	0.4799 ± 0.1019	0.4903 ± 0.0671	0.4851 ± 0.0841
Average	0.5050 ± 0.0907	0.5059 ± 0.0844	0.5054 ± 0.0871

H : horizontal angulation, V : vertical angulation

* : calculation equation of tooth loss was as followed, (L1-L2)/L1 × actual tooth length (L1 = tooth length of standard image, L2 = tooth length of subsequent image after reconstruction)

치근 흡수량을 측정하였을 때 디지털공제영상에서 치근단 부위에 검은 부분이 나타났으며 (Fig. 2) 그 부위는 인공적으로 치근단 흡수를 형성한 부위와 일치하였다. vernier caliper를 이용하여 치근의 흡수량을 실제로 측정하였을 때 0.5061 mm이었고 디지털공제영상을 이용하여 계산하여 얻어진 치근의 흡수량은 0.5054 mm로 통계적으로 유의한 차이는 없었으며 (p > 0.05) 두 명의 판독자에게서 측정된 흡수량의 결과에서도 유의한 차이는 나타나지 않았다 (p > 0.05, Table 1).

총괄 및 고안

치근의 흡수가 진행되어 치근의 형태가 변화하거나 치아의 길이 감소가 분명하게 관찰되는 경우에는 치근 흡수의 진단은 쉽게 이루어질 수 있다. Borg 등¹⁶은 1.2 mm 크기와 0.6 및 0.9 mm의 깊이로 인공적인 치근 흡수를 형성하고 일반 치근단방사선사진과 디지털영상을 이용하여 병

소를 형성하기 전, 후의 두 장의 사진을 비교하여 판독한 경우에 모두 치근 흡수를 진단할 수 있었다고 하였으나 인공적으로 형성한 치근 흡수의 크기가 커서 그와 같은 결과를 얻었을 것으로 생각된다. 치근의 형태 변화가 뚜렷이 나타나지 않고 치근의 흡수량이 적은 경우에는 치근 흡수를 진단하기가 어려운 것으로 보고되었다.¹⁷ 특히 본 연구에서 적용된 0.5mm의 작은 치근 흡수를 일반 치근단 방사선사진을 이용하여 진단하는 것은 더욱 어려울 것이라 생각된다. 따라서 본 연구는 치근 흡수량이 적을 때 일반 치근단방사선사진을 이용하여 진단할 수 있는지를 확인하고 또한 그 결과를 디지털공제영상을 이용한 경우와 비교하였다.

본 연구에서 디지털공제영상을 얻기 위하여 사용된 프로그램은 Emago[®]로서 비교하려는 두 개의 영상에 4개의 참고점을 설정하고 이 점들의 위치를 수학적 관계식을 통하여 일치시킨 후에 디지털공제영상을 얻을 수 있다. 최근에는 두 영상에서 region of interest (ROI)를 설정하면 그 내부의 회색조를 비교하여 자동으로 두 영상을 일치시키는 프로그램도 소개되고 있다. Emago[®]는 1982년 v2.0으로 개발되어 현재는 v3.2로 향상된 pc 기반의 프로그램으로 이를 이용하여 정확한 디지털공제영상을 얻기 위해서는 참고점이 가능한 한 평면상에 놓여 있어야 정확한 재구성 영상이 만들어지는 등 몇 가지 사항을 고려해야 한다.¹⁸⁻²¹ 또한 디지털영상공제술을 시행하려는 부위의 해부학적 구조물에 대한 이해가 충분하다면 참고점을 설정할 때 더욱 정확하고 편리한 점을 선택할 수 있다.

본 연구의 결과에 의하면 치근 흡수가 작은 경우 일반 치근단방사선사진의 진단능은 ROC 면적의 값이 평균 0.6446으로 매우 낮았으며 디지털공제영상을 이용한 경우에는 100%의 완벽한 진단을 할 수 있었다. 그러나 디지털공제영상을 이용한 경우의 진단능을 ROC 면적으로 표시할 수는 없었다. 분석을 위해 이용된 ROCKIT 프로그램으로는 모든 경우에 정확하게 판독자가 답을 한 경우에는 프로그램 자체의 오류로 그 값을 표기할 수 없으며 또한 ROC 곡선도 그려질 수 없는 단점이 있었다.

치근단 흡수를 정량적으로 평가한 결과는 vernier caliper로 측정된 실제 치근의 흡수량과 중절치의 근, 원심 우각부와 두 인접치의 치근을 참고점으로 설정하여 얻어진 재구성 영상에서 계산된 치근 흡수량 간의 차이는 0.01 mm 이내로 매우 적어 통계적인 유의성이 없는 것으로 나타났다. 더욱이 이와 같은 차이는 재구성 영상을 얻는 과정에서 참고점을 설정할 때 발생하는 오류에 의한 차이일 것으로 생각되어²² 중절치의 치근단 흡수를 진단하기에 디지털공제영상은 적절한 진단방법이라는 것을 의미한다. 그러나 술자가 참고점을 설정할 때 아무리 적은 차이라 할지라도 디지털공제영상에서 그 차이가 나타나 판단 및 결과에 영향을 줄 수 있다. 따라서 그 차이를 감소시키기 위해

서는 술자의 숙련도가 중요한 요인이 되므로 술자의 연습이 필요하며 현재 이용되는 소프트웨어를 개선한다면 더욱 정확한 디지털공제영상을 얻을 수 있을 것이다.

디지털공제영상의 성공여부는 매우 주관적일 수 있어 본 연구에서는 치아의 외형 중 특히 치관부가 완전히 일치하는가를 평가하여 디지털공제영상의 성공여부를 판단하였다. 치아의 외형 중 치관부가 아닌 다른 곳에서 정확하게 겹쳐지지 않는 영상이 있기는 하였으나 치근의 흡수 여부를 판단하기 위하여 치아의 길이를 측정하는 데에는 영향을 주지 않았다.

치아의 길이는 디지털영상을 얻는 Digora[®]용 소프트웨어에서도 측정이 가능한데 그 경우에는 영상판에 대한 비율로 길이가 측정되므로 기하학적인 상의 왜곡이 나타나지 않는다면 정확한 실제 길이를 mm 단위로 측정이 가능하다. 그러나 치아의 방사선사진 혹은 디지털영상을 얻는 과정에서 X선원, 치아의 위치 및 필름 또는 영상판의 위치 배열에 의한 상의 확대 또는 축소가 나타날 수 있고, 따라서 치근 흡수 부분도 상의 왜곡이 나타날 것 수 있으므로 Digora[®]용 소프트웨어로 치아의 길이 혹은 치근 흡수의 길이를 직접 측정하는 것은 오류가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상의 왜곡에 의하여 치근 흡수의 양이 달라지는 것을 고려하여 Emago[®]를 이용하여 치근 흡수량을 실제 치아에 대한 비율로 픽셀 단위로 계산해냄으로써 실제 흡수량으로 환산하도록 하였다.

따라서 본 연구의 결과에 의하면 치근단 흡수의 진단을 위하여 디지털공제영상을 이용하는 경우 치근의 흡수에 대한 진단능이 매우 높고 치근단 흡수를 정량적으로 평가한 결과 실제 치근의 흡수량과 동일하여 치근단 흡수를 진단하고 정량적으로 평가하기에 디지털공제영상이 추천될 수 있으리라 생각하며 앞으로는 치근의 설측 혹은 협측에 적은 양의 치근 흡수가 있는 경우에 대한 진단능과 정량평가에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Gröndahl HG, Gröndahl K. Subtraction radiography for the diagnosis of periodontal bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 208-13.
2. Petrikowski CG, ElBadrawy HE, Boehlau EE, Grace MG. Interobserver variability in radiographic interpretation of pediatric dental diseases: a pilot study. *J Can Dent Assoc* 1996; 62: 723-30.
3. Gelfand M, Sunderman EJ, Goldman M. Reliability of radiographical interpretations. *J Endod* 1983; 9: 71-5.
4. Bragger U. Digital imaging in periodontal radiography. A review. *J Clin Periodontol* 1988; 15: 551-7.
5. Reddy MS, Jeffcoat MK. Digital subtraction radiography. *Dent Clin North Am* 1993; 37: 553-65.
6. Vandre RH, Webber RL. Future trends in dental radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 80: 471-8.
7. 손영순, 조봉혜, 나경수. 방사선 사진을 이용한 계수 영상의 판독능

- 에 관한 실험적 연구. 대한구강악안면방사선학회지 1994; 24: 305-15.
8. Webber RL, Ruttimann UE, Gröndahl HG. X-ray image subtraction as a basis for assessment of periodontal changes. *J Periodontal Res* 1982; 17: 509-11.
 9. Ruttimann UE, Webber RL, Schmidt E. A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. *J Periodontal Res* 1986; 21: 486-95.
 10. Dunn SM, van der Stelt PF. Recognizing invariant geometric structure in dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21: 142-7.
 11. Dunn SM, van der Stelt PF, Ponce A, Fenesy K, Shah S. A comparison of two registration techniques for digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1993; 22: 77-80.
 12. Jeffcoat MK, Jeffcoat RL, Williams RC. A new method for the comparison of bone loss measurements on non-standardized radiography. *J Periodontal Res* 1984; 19: 434-40.
 13. Webber RL, Ruttimann UE, Groenhuis RA. Computer correction of projective distortions in dental radiographs. *J Dent Res* 1984; 63: 1032-6.
 14. Wenzel A. Effect of manual compared with reference point superimposition on image quality in digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1989; 18: 145-50.
 15. Reukers EA, Sanderink GC, Kuijpers-Jagtman AM, van Hof MA. Assessment of apical root resorption using digital reconstruction. *Dentomaxillofac Radiol* 1998; 27: 25-9.
 16. Borg E, Kallqvist A, Gröndahl K, Gröndahl HG. Film and digital radiography for detection of simulated root resorption cavities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 86: 110-4.
 17. Levander E, Bajka R, Malmgren O. Early radiographic diagnosis of apical root resorption during orthodontic treatment: a study of maxillary incisors. *Eur J Orthod* 1998; 20: 57-63.
 18. Fisher E, van der Stelt PF, Ostuni J, Dunn SM. The effect of independent film and object rotation on projection geometric standardization of dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 1995; 24: 5-12.
 19. Samarabandu J, Allen K, Hausmann E, Acharya R. Registration techniques for digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1994; 23: 117-9.
 20. Chanthavilay AMD, Giannakopoulos K. The effect of object of motion on the performance of projective standardization. *Adv Maxillofac Imaging IADMFR/CMI '97*, p315, Elsevier Science B.V., 1997.
 21. Ostuni J, Fisher E, van der Stelt PF, Dunn S. Registration of dental radiographs using projective geometry. *Dentomaxillofac Radiol* 1993; 22: 199-203.
 22. Aagaard E, Donslund C, Wenzel A, Sewerin I. Performance for obtaining maximal gain from a program for digital subtraction radiography. *Scand J Dent Res* 1991; 99: 166-72.