

# 인공 치아우식 발생 모델에서 디지털 방사선 공제술을 이용한 인접면 치아우식증의 진단

경희대학교 의과대학 의공학교실, 경희대학교 의료산업연구원  
\*경희대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실, 구강생물학연구소

박정훈 · 최용석\* · 황의환\* · 이기자 · 최삼진 · 박영호 · 김경숙 · 진현석  
홍경원 · 오범석 · 박헌국

## Proximal caries detection using digital subtraction radiography in the artificial caries activity model

Jeong-Hoon Park, Yong-Suk Choi\*, Eui-Hwan Hwang\*, Gi-Ja Lee, Samjin Choi, Young-Ho Park, Kyung-Sook Kim, Hyun-Seok Jin, Kyung-Won Hong, Bermseok Oh, Hun-Kuk Park

Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Kyung Hee University  
Healthcare Industry Research Institute, Kyung Hee University

\*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Institute of Oral Biology, School of Dentistry, Kyung Hee University

### ABSTRACT

**Purpose** : The purpose of the experiment was to evaluating the diagnostic ability of dental caries detection using digital subtraction in the artificial caries activity model.

**Materials and Methods** : Digital radiographies of five teeth with 8 proximal surfaces were obtained by CCD sensor (Kodak RVG 6100 using a size #2). The digital radiographic images and subtraction images from artificial proximal caries were examined and interpreted. In this study, we proposed novel caries detection method which could diagnose the dental proximal caries from single digital radiographic image.

**Results** : In artificial caries activity model, the range of lesional depth was 572-1,374  $\mu\text{m}$  and the range of lesional area was 36.95-138.52  $\text{mm}^2$ . The lesional depth and the area were significantly increased with demineralization time ( $p < 0.001$ ). Furthermore, the proximal caries detection using digital subtraction radiography showed high detection rate compared to the proximal caries examination using simple digital radiograph.

**Conclusion** : The results demonstrated that the digital subtraction radiography from single radiographic image of artificial caries was highly efficient in the detection of dental caries compared to the data from simple digital radiograph. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2009; 39 : 35-9)

**KEY WORDS** : Dental Caries; Subtraction Radiography; Artificial Caries Activity Model

## 서 론

치아우식증은 산에 의한 법랑질의 탈회현상<sup>1</sup> 치과 질환 중에서 발생빈도가 가장 높으며 방사선영상에서 방

사선투과성으로 나타난다. Gratt<sup>2</sup>와 Douglass<sup>3</sup> 등에 의해 구 내방사선영상을 이용한 초기 치아우식증 진단의 정확도는 약 60% 이하라고 보고되었고, 구강악안면방사선학의 연구 영역에서는 진단의 정확성을 얻기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 치과진료실에서 기존의 필름을 사용하는 일 반방사선사진에서 디지털방사선영상화는 빠르게 진행 중 이다. 이미 많은 임상가들이 치과진료영역에서 디지털방사 선영상의 유용성과 편리함에 때문에 널리 사용하고 있으 며, 앞으로 더 많은 치과진료실에서 사용할 것으로 예상된다. 디지털방사선영상은 이미지의 대조도와 흑화도를 수치

\*This study was supported by the research fund from Seoul R & BD program (grant # CR070054)

접수일 (2009년 1월 15일), 수정일 (1차 : 2009년 2월 6일, 2차 : 2009년 2월 20일), 채택일 (2009년 2월 27일)

Correspondence to : Prof. Hun-Kuk Park  
Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Kyung Hee University,  
#1 Hoeki-dong Dongdaemum-gu, Seoul 130-702, Korea  
Tel) 82-2-961-0290, Fax) 82-2-6008-5535, E-mail) sigmoidus@khu.ac.kr

화함으로써 일반방사선사진에 비해 객관적이고 정량적 평가가 가능하다. 이러한 방법을 이용하여 Pitts<sup>4</sup>가 처음으로 256단계의 gray-level resolution을 지원하는 컴퓨터를 활용하여 초기 인접면 치아우식증의 판독 및 정량적인 분석을 시행한 이후, Abreu,<sup>5,7</sup> Nair<sup>6</sup> 등은 연구에서 인접면 치아우식증 진단에서 디지털방사선영상이 X-선 필름을 이용한 일반방사선사진과 비교해 유의한 차이가 발생하지 않으므로 디지털방사선영상이 필름을 사용하는 일반방사선사진을 대체할 만한 진단능을 가진다고 하였다.

다른 일부 연구에서는 디지털방사선영상과 일반방사선사진과 비교했을 때 디지털방사선영상이 보다 더 높은 진단능을 보인다고 하였다.<sup>8-10</sup> 반면에 필름을 이용한 일반방사선사진의 영상이 더 우수하다고 밝힌 연구들도 있다.<sup>11,12</sup> 치아우식증은 치아의 구성성분이 약 40% 정도 탈회가 되어야 방사선이 투과상이 증가하여 방사선사진에서 관찰이 가능하다. 대구치와 소구치는 인접면이 넓고 초기 치아우식인 경우 미네랄 소실이 적어 방사선사진에서 변화를 관찰하기 어렵다. 이러한 이유로 실제로 발생한 치아우식의 깊이는 방사선사진에 나타나는 깊이와 면적보다 클 수가 있다.<sup>13</sup> 이러한 실제병소의 크기와 방사선사진상에서 관찰되는 병소의 범위와의 차를 최소화하고 진단학적 정확성을 기하고자 하는 시도들이 있었다.

디지털영상공제술(digital subtraction radiography)은 치과 영역에서 주로 치조골의 흡수, 재생 상태를 연구하는데 주로 이용되었고, Halse<sup>14</sup> 등의 인접면 치아우식증 연구에서는 일정한 기간이 경과한 후에 치아우식의 진행 정도를 찾아내고 측정에 활용되었다. 또한 Nummikoski<sup>15</sup>은 방사선영상에서 원하지 않는 배경의 음영을 제거함으로써 필요한 진단정보를 얻는 방법인 디지털 방사선 공제술을 이용하여 인공적으로 형성된 치아우식증에 대한 관찰과 진단 시에 일반 구내방사선사진보다 진단능이 우수하다고 하였다. 하지만 이러한 디지털영상공제술은 시간적인 간격을 두고 동일한 촬영방법 및 위치에서 촬영한 영상들간의 차이를 비교 분석하는 어려움이 있다. 하나의 원영상에 대한 영상처리과정을 통해 디지털공제술의 원리를 기본으로 하는 새로운 디지털공제술의 분석방법을 개발한다면 디지털방사선영상에 대한 진단능을 향상시킬 수 있다고 사료된다. 이에 본 연구에서는 하나의 디지털방사선영상을 대상으로 하여 저자들에 의해 고안된 새로운 방법의 디지털공제술을 적용하여 원래 원영상에 비해 인접면우식 병소에 대한 진단능을 향상시킬 수 있다는 가설을 바탕으로 본 연구를 설계하였다.

따라서 본 연구에서는 인공적으로 형성한 인접면 치아우식증의 평가용 실험 모델을 제작하고, 이것을 탈회용액에서 시간의 경과에 따라 진행된 우식병소를 디지털방사선촬영장치를 사용하여 순차적으로 촬영하여 얻은 디지털방사선영상에서 저자들에 의해 새롭게 고안된 디지털공제

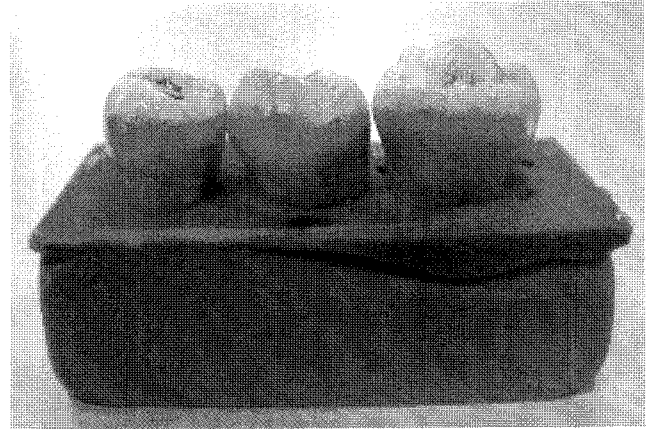


Fig. 1. Human teeth block with sound surfaces and proximal artificial cavities.

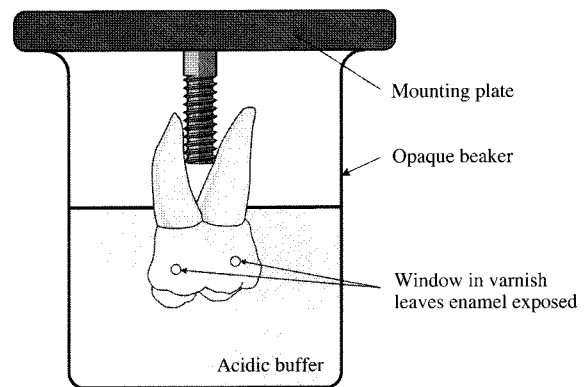


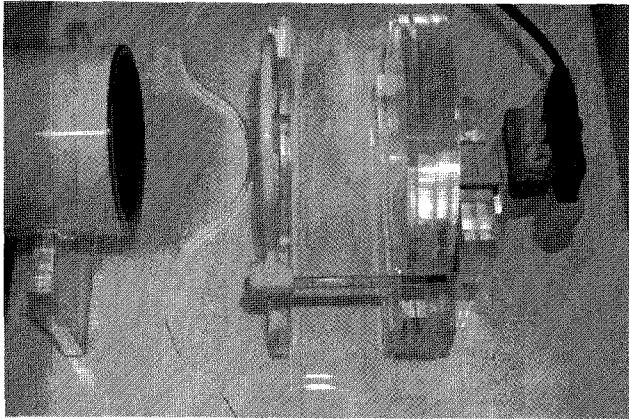
Fig. 2. Schematic of tooth mounted for demineralization.

술을 이용하여 치아우식증을 효과적으로 찾는 방법을 제안한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료 및 인공 치아우식증 실험 모델 제작

치아 인접면이 건전한 총 5개의 발거된 소구치, 대구치를 실험대상으로 하였다. 모든 인접면에 대하여 흐르는 물에 세척하고 공기 중에서 건조하였다. 준비된 치아중에서 8개의 치아 인접면을 대상으로 인접면 치아우식증이 걸리기 쉬운 영역(proximal caries-susceptible zone)을 선택하였다. 선택된 곳에 1.5 mm 원형 원도우를 형성하고 원도우를 제외한 나머지 부분에 nail varnish(VOV nail varnish, shade: yellowish green)를 2회 도포한 후 건조하였다. 선택된 치아는 중앙부가 일직선이 되며 인접면이 접촉되도록 위치시킨 다음 규격화된 고무 블록에 매식하였다(Fig. 1). 인공 치아우식 병소를 형성하기 위한 탈회용액을 100 mmol L<sup>-1</sup> acetic acid, 3.0 mmol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 1.7 mmol L<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>



**Fig. 3.** Geometrically standardized experimental design. Thick circle acrylic block (2 cm) simulating the soft tissue.

를 사용<sup>16</sup>하였으며 본 연구에서는 포화도를 좀더 빠르게 진행시키기 위하여 perchloric acid 10%를 첨가하여 치아를 탈회시켜 인공치아우식증형성 모델을 제작하였다(Fig. 2).

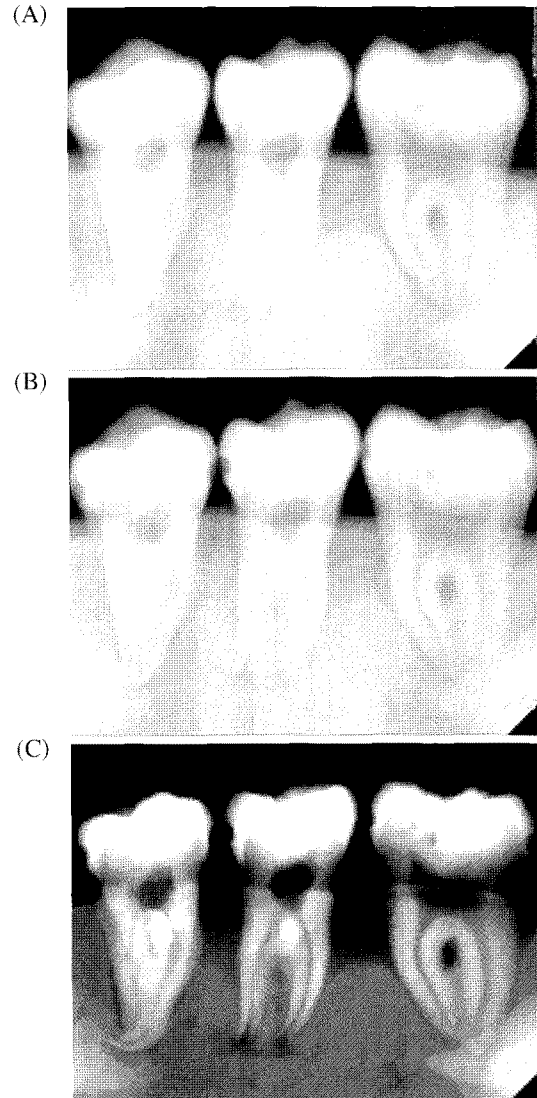
### 2. 연구 방법

인공적으로 형성된 치아우식증 병소가 발생한 치아블록은 특별히 제작된 평행촬영기구(XCP)에 CCD sensor를 장착하여 X-ray focal point와 센서와의 거리를 40 cm로 유지하고 연조직 효과를 얻기 위해 20 mm의 원형 아크릴판을 위치시켰다. X-선 관구와 고무블럭을 방사선원과 치아 그리고 CCD sensor 검출기가 일정한 위치와 각도를 유지하도록 고안된 고정장치에 위치시키고 디지털 방사선영상을 취득하였다(Fig. 3).

영상은 구내촬영용 진단용방사선발생기인 Heliodent DS (Sirona Dental System GmbH, Bensheim, Germany)를 사용하여 60 kVp, 7 mA, 0.32 sec 촬영조건으로 촬영하였다. 제작된 고무블럭에 탈회가 진행하기 전과 후에 치아를 재위치시킨 다음 전과 동일한 방법으로 우식증과 주위 치아구조와의 중첩이 발생되지 않도록 중심방사선의 방향을 조절된 평행촬영을 시행하였다. 직접 디지털 방사선촬영에 사용된 검출기는 CCD sensor 방식의 Kodak RVG 6100 시스템을 사용하였으며 디지털영상의 물리적 특징은 1,140 × 1,920 픽셀 (dimensions of active area: 27 × 36 mm), 공간해상도는 20 lp/mm였다. 인공 치아우식증이 형성된 치아매식용 고무블럭을 사용하여 촬영된 디지털방사선영상을 본 연구에서 고안된 디지털공제술 방법을 이용하여 인접면 치아우식증의 변화를 측정하였다.

### 3. 분석 방법

기존의 방사선영상에서 디지털공제술에 사용된 분석방법은 질환이 진행된 소견을 가진 환자의 영상이 2개 이상



**Fig. 4.** Each image of same teeth from digital radiograph. Direct digital image in sound tooth block (A), direct digital image in artificial cavity (B), digital subtraction image from Fig. 4B (C).

인 경우에 적용되는 방법이지만, 본 연구에서는 1회 촬영한 영상정보만으로 형성된 영상을 가지고 분석하였다. 새로운 디지털공제영상(subtraction image)은 1회 촬영된 원영상(original image, 영상 A)과 원영상을 이진영상(binary image, 영상 B)으로 변환시킨 영상의 차영상이며 이의 수식은 다음과 같다.

$$f_d(x_{pA}, y_{pA}) = |f_A(x_{pA}, y_{pA}) - \alpha| - |f_B(x_{pB}, y_{pB}) - \beta| \quad (1)$$

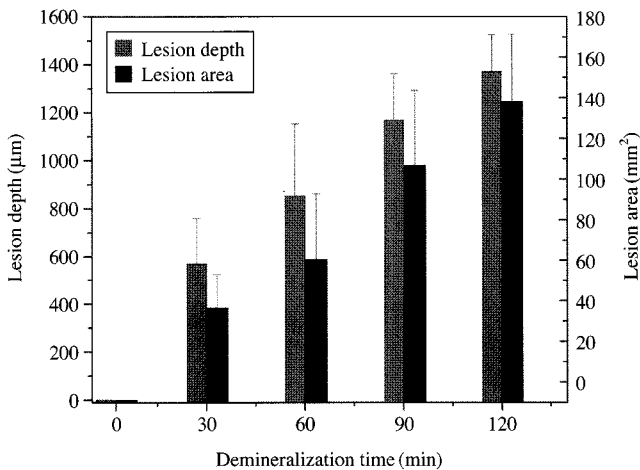
$x_{pA}, x_{pB} = 1, 2, \dots$ , width

$y_{pA}, y_{pB} = 1, 2, \dots$ , height

수식 (1)에서,  $f(x, y)$ 는 영상좌표  $(x, y)$ 에서의 휘도를 나타낸다.  $f_A(x_1, y_1)$ 와  $f_B(x_2, y_2)$ 는 각각 영상 A와 영상 B의 휘도이다. 그리고, 영상 A의 점  $(x_1, y_1)$ 과 영상 B의 점  $(x_2, y_2)$ 은

**Table 1.** Mean lesion depth and lesion area of specimens in accordance with demineralization time

Demineralization time (min)	Number of specimens	Lesion depth (μm)	Lesion area (mm <sup>2</sup> )
0	8	0	0
30	8	572.55 ± 191.15	36.95 ± 16.40
60	8	851.17 ± 300.40	60.59 ± 32.20
90	8	1167.21 ± 195.05	106.58 ± 37.09
120	8	1374.27 ± 153.52	138.52 ± 32.89
F ratio		35.47	45.41
P-value		<0.001	<0.001



**Fig. 5.** Comparison of lesion depths and lesion areas in accordance with demineralization time.

대응한다. 영상 A와 영상 B의 휘도 및 대조도를 보상해주기 위하여 휘도 보정계수  $\alpha$ , 대조도 보정계수  $\beta$ 를 이용한다. 영상 A ( $x_{pA}, y_{pA}$ )와 대응하는 영상 B ( $x_{pB}, y_{pB}$ )에서 차영상을 얻어 디지털공제영상을 얻었다. 이렇게 얻어진 영상에서 탈회를 진행시킨 후 순차적으로 얻은 영상에서 새로운 디지털 공제술을 시행하여 인접면우식증에 의한 결손부의 깊이와 넓이를 측정하였다.

디지털방사선영상 분석을 위하여 LabVIEW program (version 8.0)를 사용하였으며, 얻어진 영상에서 인접면 우식병소에 대한 각 탈회시간과 병소의 깊이 및 넓이에 대한 ANOVA test를 위한 통계분석은 SPSS (version 13.0)을 이용하였다.

### 결 과

연구에서 사용되어진 5개 치아의 8개의 면을 대상으로 실험을 한 결과 초기에는 치아우식이 법랑질에만 있었지만 탈회 시간이 지남에 따라 상아질까지 치아우식이 확장되었다(Fig. 4).

저자들에 의해 고안된 새로운 디지털공제술 방법을 이

용하여 인공적으로 형성된 인접면 치아우식증에 대하여 영상분석용 프로그램에서 결손부의 깊이 및 면적이 측정되었다. 인공 치아우식 병소를 형성하기 위한 탈회용액에 넣어 탈회시킨 치아에서 탈회 시간이 증가됨에 따른 우식증의 깊이는 572 μm에서 1,374 μm까지 있으며 탈회시간이 증가됨에 따라 증가되는 모습을 보였다. 우식증의 면적은 36.95 mm<sup>2</sup>에서 138.52 mm<sup>2</sup>의 범위 내에서 발생했으며 탈회시간이 증가됨에 따라 우식증 면적이 증가되었다(Table 1).

ANOVA test를 이용한 각 탈회시간 그룹 간의 비교결과 병소의 깊이 그룹과 병소의 면적 그룹의 대부분에서 유의한 차이가 있었지만 ( $p < 0.001$ ), 탈회 30분 그룹과 탈회 60분 그룹에서는 유의할 만한 차이가 없었다 ( $p > 0.05$ ) (Fig. 5).

### 고 찰

치아 법랑질에서의 초기 우식증은 임상적으로 불투명한 백반상을 보이는데 재광화에 의해 비교적 건전한 상태를 보이는 표층부와 탈회가 많이 발생하는 표층하부로 구성되는 독특한 구조를 보인다.<sup>20</sup> 임상적으로 치아우식증의 진단중 인접면의 우식증은 육안을 이용한 시각적 진단을 하기에는 어려움이 많아 방사선 사진촬영을 이용하여 검사를 하게 되는데 감지되지 않는 경우가 많다. 디지털공제술을 이용한 치아우식 진단은 치아우식이 진행되어 변화가 있어야만 분석이 가능했으므로 이전에 촬영한 방사선사진과 현재 촬영한 방사선사진을 정확히 같은 촬영조건과 위치에서 촬영해야 했다.<sup>16-18</sup> 인공적으로 탈회한 이후에 공제술을 이용하여 탈회 정도를 알아낼 수도 있고,<sup>15</sup> 상아질에서 발생한 치아우식의 진행 정도를 공제술을 이용하여 확인할 수도 있다.<sup>19</sup> 그러나 이러한 모든 연구는 일정한 기간 경과후의 치아우식의 변화가 필요하기 때문에 같은 조건으로 촬영을 한다고는 하지만 방사선원과 치아 그리고 필름 또는 검출기의 위치와 중심방사선의 각도 변화 및 두 방사선사진의 대조도의 차이가 발생하며, 영상에 대한 보정을 시행함에 따른 오차가 발생할 수 밖에 없다.

본 연구에서는 시간의 경과에 구애 받지 않고 1회 촬영한 원영상을 가지고 영상 처리를 하여 그 차이로 영상을 공제하는 새로운 방법으로 분석법을 제안하였다. 분석에 사용된 모든 영상은 인공 인접면 치아우식증에서 탈회시간이 증가함에 따라 우식증의 깊이 및 면적이 변화하는 치아들의 디지털방사선영상을 대상으로 하였다. 측정된 조직학적 병소의 깊이는 탈회시간에 따라 572 μm에서 1,374 μm까지 증가하는 모습을 보였고, 우식증의 면적은 36.95 mm<sup>2</sup>에서 138.52 mm<sup>2</sup>으로 증가하는 결과를 얻었다.

ANOVA test를 사용하여 각 탈회시간 그룹 간의 비교결과 병소의 깊이 그룹과 병소의 면적 그룹의 대부분에서

유의한 차이가 있었지만( $p < 0.001$ ), 탈회 30분 그룹과 탈회 60분 그룹에서만 유의할 만한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 이것은 탈회시간 완료시점에 맞추어 반복적으로 디지털 방사선 이미지 촬영을 할 때, 방사선원과 치아 그리고 디지털 이미지 디텍터센서의 일정한 위치와 각도 등의 변화에 의한 것으로 추정할 수 있다.

본 연구에서는 치아우식증 모델에서 1회 촬영한 디지털 방사선영상방사선영상을 새로운 디지털공제술을 이용하여 치아우식증의 정도가 미약하거나 위치를 알 수 없을 때 진단하기 어려운 우식증의 영상을 강조하여 보여줌으로써 인접면 치아우식증을 좀더 객관적인 방법으로 평가하고 진단능에 도움을 줄 수 있게 하였다.

앞으로 디지털방사선영상 및 디지털공제술을 이용한 초기 치아우식증을 분석하기 위해서는 인공 초기 치아우식 모델의 개발과 분석방법에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Besic FC. Caries like enamel changes by chemical means. *J Dent Res* 1953; 32 : 830-41.
2. Gratt BM, White SC, Bauer JG. A clinical comparison between xeroradiography and film radiography for the detection of recurrent caries. *Oral Surg* 1988; 65 : 483-9.
3. Douglass CW, Valachovie RW, Wijesinha A, Chauncey HH, Kapur KK, McNeil BJ. Clinical efficacy of dental radiography in the detection of dental caries and periodontal disease. *Oral Surg* 1986; 62 : 330-9.
4. Pitts NB. Detection and measurement of approximal radiolucencies by computer-aided image analysis of bitewing radiographs. *Oral Surg* 1984; 58 : 358-66.
5. Abreu M Jr, Mol A, Ludlow JB. Performance of RVGui sensor and Kodak Ektaspeed Plus film for proximal caries detection. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 91 : 381-5.
6. Nair MK, Nair UP. An in-vitro evaluation of Kodak Insight and Ektaspeed Plus film with a CMOS detector for natural proximal caries: ROC analysis. *Caries Res* 2001; 35 : 354-9.
7. Abreu Junior M, Tyndall DA, Platin E, Ludlow JB, Phillips C. Two and three-dimensional imaging modalities for the detection of caries. A comparison between film, digital radiography and tuned aperture computed tomography (TACT). *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 152-7.
8. Dagenais ME, Clark BG. Receiver operating characteristics of Radio-VisioGraphy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 79 : 238-45.
9. Svanaes DB, Møystad A, Larheim TA. Approximal caries depth assessment with storage phosphor versus film radiography. Evaluation of the caries-specific Oslo enhancement procedure. *Caries Res* 2000; 34 : 448-53.
10. Nair MK, Ludlow JB, May KN, Nair UP, Johnson MP, Close JM. Diagnostic accuracy of intraoral film and direct digital images for detection of simulated recurrent decay. *Oper Dent* 2001; 26 : 223-30.
11. Uprichard KK, Potter BJ, Russell CM, Schafer TE, Adair S, Weller RN. Comparison of direct digital and conventional radiography for the detection of proximal surface caries in the mixed dentition. *Pediatr Dent* 2000; 22 : 9-15.
12. Price C, Ergul N. A comparison of a film-based and a direct digital dental radiographic system using a proximal caries model. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 45-52.
13. White SC, Pharoah MJ. *Oral Radiology: principles and interpretation*. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2000. p. 277-9.
14. Halse A, Espelid I, Tveit AB, White SC. Detection of mineral loss in approximal enamel by subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994; 77 : 177-82.
15. Nummikoski NB, Martinez TS, McDavid WD. Digital subtraction radiography in artificial recurrent caries detection. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21 : 59-64.
16. Dove SB, McDavid WD, Hamilton KE. Analysis of sensitivity and specificity of a new digital subtraction system. *Oral Surg Oral Med Oral Radiol Endod* 2000; 89 : 771-6.
17. Wenzel A, Anthonisen PN, Juul MB. Reproducibility in the assessment of caries lesion behaviour: a comparison between conventional film and subtraction radiography. *Caries Res* 2000; 34 : 214-8.
18. Eberhard J, Hartman B, Lenhard M, Mayer T, Kocher T. Digital subtraction radiography for monitoring dental demineralization. *Caries Res* 2000; 34 : 219-24.
19. Maggio JJ, Hausmann EM, Allen K, Potts TV. A model for dental caries progression by digital subtraction radiography. *J Prosthet Dent* 1990; 64 : 727-32.
20. Levine RS. Remineralization of natural caries lesion on enamel. *Brit Dent J* 1974; 137 : 132-41.