대한구강악안면방사선학회지 2002; 32 : 107-11

재구성영상 형성방법에 따른 디지털영상공제술의 정확성 비교연구

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 치학연구소
*인제대학교부속 상계백병원 치과학교실
**서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, 치학연구소 및 BK 21
***한림대학교 정보통신학과
허영준 · 전인성* · 허민석 · 이삼선** · 최순철** · 박태원 · 김종대***

A comparative study on the accuracy of digital subtraction radiography according to the aquisition methods of reconstructed images

Young-June Huh, In-Seong Jeon,** Min-Suk Heo, Sam-Sun Lee,* Soon-Chul Choi,*
Tae-Won Park, Jong-Dae Kim***

Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology and Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University
**Dept. of Dentistry, Inje University Sanggyepaik Hospital*
***Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental Research Institute, and BK21, College of Dentistry, Seoul National University*
****Division of Information and Communication Engineering, Hallym University*

ABSTRACT

Purpose : To compare the accuracy of digital subtraction images acquired by two different methods different in positioning four reference points for geometrical standardization.

Materials and Methods : A total of 36 digital radiographic images of 6 volunteers were taken at the areas of the incisor, premolar, and molar of both the maxilla and mandible using the Digora system. Each image was moved 4 mm vertically and horizontally. Four oral and maxillofacial radiologists performed digital subtraction radiography between the paired images before and after movement using Emago (Oral Diagnostic Systems, Amsterdam, The Netherlands) and Sunny (Biomedisys Co., Seoul, Korea). The standard deviation of the internal gray value in Region of Interest (ROI) was statistically analyzed between the two programs using the paired t-test.

Results : The standard deviation of pixel gray values from the digital subtraction images using the Sunny program were lower than that of the Emago program ($p<0.05$). All observers showed significant differences between each other when the Sunny program was used ($p<0.05$), but one observer showed a significantly higher score than other observers when they used Emago ($p<0.05$). The standard deviations of premolar area from both Sunny and Emago programs were significantly higher than those of anterior and molar regions ($p<0.05$).

Conclusion : The subtracted images using the Sunny program were more accurate and sensitive than those taken using the Emago program. (***Korean J Oral Maxillofac Radiol 2002; 32 : 107-11***)

KEY WORDS : subtraction technique; radiography, dental, digital; radiographic image interpretation, computer-assisted

서 론

디지털영상공제술은 시간 차이를 두고 촬영한 방사선영상을 중첩시킨 후 중복된 영상을 제거하고 변화가 있는 부위만을 관찰할 수 있는 방법이다. 치과영역에서 디지털영상공제술은 Webber 등[1]에 의하여 치조골의 미세한 변화를 평가하는데 이용되었고, 치주질환 치료 후의 평가,[2] 치근단 병소의 진단,[3] 치근 외흡수의 평가,[4] 인접면 치아우식증의 진단,[5,6] 임플란트 주위의 골변화 평가[7] 등을 위하여 이용되어 왔으며, 미세한 골변화를 평가하는데 디지털영상공제술이 일반 방사선사진을 이용하여 평가하는 것보다

This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (01-PJ5-PG1-01CH12-0002)
접수일 : 2002년 3월 13일 채택일 : 2002년 4월 22일
Correspondence to : Prof. Soon-Chul Choi
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University, 28 Yongon-Dong, Chongno-Gu, Seoul, 110-749, KOREA
Tel) 82-2-760-3498, Fax) 82-2-744-3919
E-mail) raychoi@snu.ac.kr

우수하다는 연구가 있었다.[8-11]

정확한 디지털영상공제술이 되기 위해서는 일정한 간격을 두고 동일한 부위를 촬영한 영상의 흑화도, 대조도 및 기하학적 표준화가 이루어져야 한다. 흑화도 및 대조도 표준화를 위한 방법에는 Ruttiman 등[12]이 주장한 robust법, Ohki 등[13]의 최소제곱법 등이 있으며 기하학적 표준화를 위한 방법에는 교합스텐트,[14] 두부고정장치,[15] 전자위치장치를 이용한 방법[16] 등이 소개되었다. 한편 Dunn 등[17,18]은 정확하게 기하학적 표준화가 되지 않은 두 장의 디지털영상에서 4개의 대응점(reference point)을 설정하고 그 위치를 고려하여 영상을 기하학적으로 표준화시킬 수 있다고 하였다. 이를 바탕으로 컴퓨터를 이용한 프로그램이 개발되어 두 영상에서 각각 4개의 대응점을 설정하고 그 점들의 위치를 수학적인 계산을 통하여 일치시켜 재구성영상(reconstructed image)을 형성한 후 이를 이용하여 디지털공제영상을 얻을 수 있게 되었다. 이때 실제 디지털영상공제술을 시행하는 과정에서 4개의 대응점을 정확하게 설정할 수만 있다면 비교적 정확한 디지털공제영상을 얻을 수 있으나 실제로 디지털영상공제술을 시행하는 과정 중에 두 영상에서 해부학적으로 정확히 일치하는 4개의 기하학적 대응점을 설정하기가 용이하지 않아 대응점을 설정하는 과정에서 발생하는 오류 때문에 정확한 디지털공제영상을 얻기 어렵다.[19] 따라서 해부학적으로 정확히 일치되는 4개의 대응점을 설정할 수 있는 효과적인 방법이 필요하다.

이번 연구에서는 두 영상에서 4개의 대응점을 설정하는 기능이 보강된 새로운 컴퓨터용 프로그램을 개발하고 디지털영상공제술을 시행하여 결과로 나타난 디지털공제영상의 정확성을 기존의 프로그램과 비교 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

지원자 6명(남자 3명, 여자 3명, 평균연령 24.9세)을 대상으로 상악과 하악의 전치부, 소구치부, 대구치부를 각각 촬영하여 총 36매의 디지털영상을 얻었다. 사용된 구내 디지털영상획득 장치는 Digora (Soredex Co., Finland)이었으며 구내 방사선촬영기 (Heliodent DS, Sinora Co., Germany)로 7 mA와 60 kVp의 조건에서 전치부는 0.10초, 소구치부는 0.13초, 대구치부는 0.17초 동안 노출시켰다.

지원자의 구강 상태는 촬영 부위에 보철치료를 받은 치아가 없는 경우로 한정하였고 디지털영상 획득 과정 중에서 전치부는 중절치 2개, 소구치부는 소구치 2개, 대구치부는 대구치 2개가 잘 관찰되고 영상의 왜곡이 없고 우수한 영상이 유지되도록 하였으며 경우에 따라 재촬영을 시행하였다. Adobe Photoshop 5.0 (Adobe Systems Inc., San Jose, USA)을 이용하여 획득된 36매의 디지털영상을 수평 방향과 수직 방향으로 각각 4 mm씩 평행이동시켜 총 36쌍의 디지털영상을 얻었다.

2. 연구방법

1) 디지털영상공제술을 위한 프로그램의 개발

기존의 디지털영상공제술을 위한 프로그램인 Emago/Advanced v3.2 (Oral Diagnostic Systems, Amsterdam, The Netherlands)에서는 두 매의 디지털영상에서 해부학적으로 일치된다고 생각되는 4개의 대응점을 마우스를 이용하여 선택하는 과정에서 약간의 불일치가 나타난다. 이러한 불일치는 디지털영상공제 과정에 영향을 줄 수 있으므로 대응점 선택이 좀더 용이한 프로그램인 Sunny (Biomedisys Co., Seoul, Korea)를 개발하였다. Sunny의 특성은 마우스의 위치 이동에 따라 주위 구조물을 3배 확대하여 볼 수 있는 확대창과 마우스가 위치하고 있는 점의 회색조 수치에 따라 노란색에서 빨간색까지 변화하는 기능이 부여되었다. 또한 마우스로 정확한 위치를 지정할 수 있도록 마우스의 지시점을 하나의 점으로 처리하였다. 그리고 기존의 프로그램에서는 두 매의 영상에서 각각 4개의 대응점을 동시에 설정하여 총 8개의 점을 한꺼번에 설정해야 하므로 대응점 설정에 오류가 있는 경우 8개의 점을 처음부터 다시 설정해야 하는 불편함이 있으나 개발된 프로그램에서는 각각의 영상에서 4개의 대응점을 독립적으로 설정하여 대응점 설정에 오류가 있거나 바람직하지 않은 경우 해당 영상에서 4개의 대응점만을 다시 설정할 수 있도록 구성하였다.

2) 디지털영상공제술의 시행

실험자는 구강악안면방사선학 분야에서 2년 이상의 경력이 있으며 디지털영상공제술의 경험이 있는 4명의 구강악안면방사선학 전공자로 구성하였다. 디지털영상공제술을 시행하는 과정에서 실험자간 및 실험자내의 오차를 줄이기 위하여 이번 실험에 앞서 디지털영상공제술을 시행하는 연습을 만족할만한 결과를 얻을 때까지 수 회 반복하여 연습하도록 하였다. 실험자는 Sunny와 Emago 프로그램을 이용하여 한 쌍의 디지털영상에서 기하학적으로 동일하다고 판단되는 4개의 대응점을 각각 설정하였는데 대응점은 치근단부위에서 2곳, 백악법랑경계 부위에서 2곳을 반시계방향으로 선택하도록 하였으며 4명의 실험자에게 두 영상에서 대응점을 설정할 때 최대한 동일한 점을 선택하도록 요구하였다. 대응점 설정 과정 중에 오류가 있다고 판단되는 경우에는 대응점을 다시 설정할 수 있도록 하였고 Sunny 프로그램을 이용하는 경우 디지털영상공제술을 위하여 개발된 기능을 최대한 이용하도록 하여 대응점을 설정하도록 요구하였다. 그 후 변환기능에 의해 재구성영상을 형성하여 기하학적 보정을 하고 감마보정기능으

로 흑화도 및 대조도를 보정한 후 디지털영상공제술을 시행하였다. 디지털공제영상을 얻은 이후에는 디지털영상공제술을 재시도하지 않도록 하였다.

3) 평가 방법

4명의 실험자가 두 가지 프로그램을 이용하여 36쌍의 디지털영상에서 얻어진 총 288개의 공제 영상을 Adobe Photoshop 5.0 (Adobe Systems Inc., San Jose, USA)을 이용하여 분석하였다. 영상의 중심을 기준으로 전치부, 소구치부, 대구치부 영상에서 각각 중절치 2개, 소구치 2개, 대구치 2개가 대부분 포함되는 범위로 270×335 화소, 260×260 화소, 330×260 화소의 크기로 ROI (region of interest)를 설정하였고, ROI 내부 화소의 회색조 수치의 표준편차를 구한 후 그 수치를 프로그램, 실험자, 촬영 부위에 따라 paired t-test로 통계적 유의성을 검증하였다.

결 과

실험자 4명 모두 Sunny 프로그램을 이용한 경우가 Emago 프로그램을 이용한 경우보다 디지털공제영상의 화소 회색조 수치의 표준편차가 유의성 있게 작았고 Sunny를 이용한 경우에는 모든 실험자간에 서로 유의성 있는 차이를 보였으나 Digora를 이용한 경우에는 실험자 1만 다른 실험자에 비해 유의성 있게 컸다($p<0.05$, Table 1).

실험자 전체를 대상으로 각 부위별로 비교했을 때, 전치부, 소구치부, 대구치부에서 모두 Sunny 프로그램을 이용한 경우가 Emago 프로그램을 이용한 경우보다 디지털공제영상의 화소 회색조 수치의 표준편차가 유의성 있게 작았다 ($p<0.05$, Table 2).

두 프로그램 모두에서 소구치부의 표준편차가 전치부와 대구치부에 비해 유의성 있게 컸다($p<0.05$, Table 2).

Table 1. Mean values of the standard deviations of digital subtraction images acquired with Sunny and Emago pro-gram according to observers

Observer	Sunny	Emago
Observer 1	8.13*†	11.59†
Observer 2	4.07*†	7.49
Observer 3	5.75*†	8.08
Observer 4	1.60*†	8.80

* significant difference compared with Emago ($p<0.05$)
† significant difference compared with other observers ($p<0.05$)
‡ significant difference compared among the observers ($p<0.05$)

Table 2. Mean values of the standard deviations of digital subtraction images acquired with Sunny and Emago program according to regions

Region	Sunny	Emago
Anterior region	4.67*	7.53†
Premolar region	5.94*†	11.81
Molar region	4.06*	7.65

* significant difference compared with Emago ($p<0.05$)
† significant difference compared with anterior and molar region ($p<0.05$)

총괄 및 고안

임상적으로 디지털영상공제술을 시행하기 위한 한 쌍의 디지털영상은 주로 시간 간격을 두고 얻어지게 되는데 이 때 각 영상에서 관찰되는 해부학적 구조물의 형태, 크기, 위치 등이 다양하게 변화할 수 있다. 따라서 디지털영상공제를 하기 위하여 대응점을 설정하는 과정에서의 오차는 프로그램 조작에 의하여 나타날 뿐 아니라 관찰되는 해부학적 구조물의 변화에 의해서도 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 대응점 설정 시 마우스 조작 과정에서 나타나는 오차를 평가하기 위한 것이므로 해부학적 구조물의 변화가 없는 한 쌍의 디지털영상을 얻기 위하여 한 개의 디지털영상을 얻은 후 그 영상을 평행 이동하여 다른 한 개의 영상을 얻었다.

이론적으로 동일한 두 영상에 대하여 디지털영상공제술을 시행하면 영상 전체가 회색조 128의 중등도 회색조를 보이게 된다. 그러나 실제 임상에서 완벽한 표준화는 불가능하여 동일한 부위를 동일한 촬영조건 및 촬영각도로 촬영하여도 두 영상 사이에는 오차가 존재하며 이와 같은 오차는 디지털공제영상에서 부분적으로 희거나 검은 부분으로 나타나게 된다. 따라서 디지털공제영상에서 희거나 검은 부분이 적을수록 정확한 디지털공제영상을 얻었다고 할 수 있기 때문에 본 연구에서는 디지털공제영상에서 회색조 수치의 표준편차를 이용하여 두 프로그램 사이의 디지털영상공제술의 정확성을 비교하였다. 회색조 수치의 평균은 약 128이었으며 디지털공제영상의 희거나 검은 부분, 즉 디지털영상공제술 과정 중의 오차에 의하여 평균의 차이가 나타났다. 이번 연구에서는 하나의 영상을 평행이동하여 얻은 한 쌍의 영상으로 디지털공제영상을 얻었으므로 공제영상의 모서리 부위에서는 평행이동한 양만큼의 검거나 흰 띠가 나타났다. 따라서 그 부분은 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 공제영상의 중앙을 중심으로 하여 일정 영역만을 ROI로 선택하였다.

Emago 프로그램은 디지털영상공제술을 위하여 개발된 프로그램으로 한 쌍의 디지털영상에서 정확한 대응점을 설정하면 정확한 디지털공제영상을 얻을 수 있는 특징이 있다. 그러나 디지털영상공제술 과정 중 여러 단계에서 오차가 나타날 수 있어 그 오차에 의하여 디지털공제영상의 정확성은 감소하게 된다. 이 중 디지털영상공제술 중에 재조합영상을 획득하기 위하여 4개의 대응점을 설정하는 단계에서 가장 큰 오차가 나타날 수 있어 공제 영상의 정확

성을 감소시킨다. 따라서 4개의 대응점을 Emago 프로그램에 비하여 정확하고 편리하게 설정할 수 있는 Sunny 프로그램을 개발하였다. Sunny 프로그램의 특징으로 첫째는 확대창이 있다는 것이다. 이것은 컴퓨터 화면상에서 작업할 때 두 영상에서의 대응점이 확실하지 않을 때 확대창을 통하여 해부학적 구조물과 골소주의 형태 등을 관찰함으로써 대응점을 좀 더 명확하게 설정할 수 있었고 마우스의 커서가 위치하는 주변의 일정 범위를 항상 확대해 주기 때문에 확대 영상을 참고하여 대응점을 쉽게 설정하는 것이 가능하였다. 필요에 따라 확대창이 불필요하거나 대응점 설정에 방해가 될 때에는 확대창을 모니터에서 감추는 것도 가능하였다. 둘째는 마우스 커서 포인터의 색이 배경에 따라 변화한다는 것이다. 대응점 설정시 Emago 프로그램의 커서 포인터가 영상의 회색조에 따라서 배경색과 같아지거나 구별이 어렵게 되는 경우가 있었는데 Sunny 프로그램의 경우는 배경색에 따라 커서의 색이 바뀜으로써 커서의 위치를 언제나 정확히 관찰할 수 있었고 해부학적 구조물에 따라 회색조 수치가 급격히 변화하는 정확한 지점을 포인터의 색으로 정확히 설정할 수도 있었다. 셋째는 대응점 설정에 오류가 있을 때 수정이 용이하다는 것이다. Emago 프로그램을 이용할 때 대응점 설정 시 각 영상에서 4개씩 총 8개의 점을 연속해서 설정해야 하며 대응점 설정 과정 중에 오류 혹은 실수가 있을 때에는 처음부터 다시 8점을 설정해야 했다. 그러나 Sunny 프로그램의 경우는 첫째 영상에서 4점, 둘째 영상에서 4점을 각각 독립적으로 설정할 수 있어 첫 번째 영상에서 대응점을 설정하고 두 번째 영상에서 대응점을 설정하는 과정 중 다시 설정해야 할 때에는 두 번째 영상에서만 4점을 다시 설정할 수 있었다.

디지털영상공제술의 시행과정에서 4개의 대응점을 컴퓨터 화면에서 설정하는 작업은 고도의 집중력과 시간을 요구하는 과정이기 때문에 대응점을 용이하게 설정할 수 있도록 고안된 Sunny 프로그램의 결과가 정확한 것은 당연하다고 판단되었다. Sunny 프로그램을 이용한 결과가 4명의 실험 참가자 모두에서 Emago 프로그램을 이용한 경우보다 정확했지만 Sunny 프로그램의 경우만을 관찰하면 4명의 실험 참가자 각각의 결과에서 통계학적으로 서로 유의한 차이를 나타냈다. 이것은 Sunny 프로그램이 Emago 프로그램보다 우수하나 Sunny를 이용한 경우 개인의 디지털영상공제술 시행능력에 따라 결과가 차이를 보일 수 있다는 것을 의미한다. 이번 실험에 참가한 실험자는 구강악안면방사선학 분야에서 2년 이상의 경력과 디지털영상공제술의 경험이 있는 구강악안면방사선학 전공자였고 실험자간 및 실험자내의 오차를 줄이기 위하여 이번 실험에 앞서 디지털영상공제술을 시행하는 연습을 만족할만한 결과를 얻을 때까지 수 회 반복하도록 하였으므로 이러한 실험 결과는 4명의 실험자 간에 디지털영상공제술의 시행능력에 뚜렷하게 차이가 없을 것이라는 예상과는 다른 것이었다. 디지털영상공제술을 시행하는 작업 환경, 집중력 및 개인의 숙련도, 실험에 소요된 시간에 따라 결과 영상의 정확성에 차이가 있었을 것이라고 판단되어 이에 대한 추가적인 평가가 필요하리라 생각한다.

전치부와 대구치부가 소구치부에 비하여 Emago와 Sunny 프로그램에서 전반적으로 정확한 결과를 보였는데 이것은 4개의 대응점이 전치부나 대구치부에 비하여 소구치부에서 명확하지 않았기 때문으로 생각된다. 하악 소구치의 경우 치근단부가 영상에서 명확하게 관찰되지 않은 경우가 있었으며, 상악 소구치의 경우 치근이 2개인 경우 치근단부에서 대응점 설정이 용이하지 않았다. 또한 소구치부의 경우 전치부나 대구치부에 비해 백악법랑질 경계가 명확하지 않았으므로 정확한 대응점을 설정하기 어려웠다.

Sunny 프로그램이 Emago 프로그램보다 기하학적 대응점을 설정하는데 용이하며 보다 정확한 결과를 얻을 수 있었으나 확대창 크기 조절 등의 보완적인 연구가 필요하다고 생각한다.

References

1. 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.
2. Reddy MS. Radiographic methods in the evaluation of periodontal therapy. J Periodontol 1992; 63 : 1078-84.
3. Tyndall DA, Kapa SF, Bagnell CP. Digital subtraction radiography for detecting cortical and cancellous bone changes in the periapical region. J Endod 1990; 16 : 173-8.
4. Kravitz LH, Tyndall DA, Bagnell CP, Dove SB. Assessment of external root resorption using digital subtraction radiography. J Endod 1992; 18 : 275-84.
5. Gröndahl HG, Gröndahl K, Okano T, Webber RL. Statistical contrast enhancement of subtraction images for radiographic caries diagnosis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982; 53 : 219-23.
6. Maggio JJ, Hausmann EM, Allen K, Potts TV. A model for dentinal caries progression by digital subtraction radiography. J Prosthet Dent 1990; 64 : 727-32.
7. Jeffcoat MK, Reddy MS, van den Berg HR, Bertens E. Quantitative digital subtraction radiography for the assessment of peri-implant bone change. Clin Oral Implants Res 1992; 3 : 22-7.
8. Parsell DE, Gatewood RS, Watts JD, Streckfus CF. Sensitivity of various radiographic methods for detection of oral cancellous bone lesions. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1998; 86 : 498-502.
9. Christgau M, Hiller KA, Schmalz G, Kolbeck C, Wenzel A. Accuracy of quantitative digital subtraction radiography for determining changes in calcium mass in mandibular bone: an in vitro study. J Periodontal Res 1998; 33 : 138-49.
10. 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.
11. 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; 89 : 771-6.
12. Ruttimann UE, Webber RL, Schmidt E. A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. J Periodontal Res 1986; 21 : 486-95.
13. Ohki M, Okano T, Yamada N. A contrast-correction method for digital subtraction radiography. J Periodontal Res 1988; 23 : 277-80.
14. 조형희, 김은경. 방사선사진용 디지털영상시스템의 정량적 평가에 관한 실험적 연구. 대한구강악안면방사선학회지 1994; 24 : 137-45.
15. Jeffcoat MK, Reddy MS, Webber RL, Williams RC, Ruttimann UE. Extraoral control of geometry for digital subtraction radiography. J Periodontal Res 1987; 22 : 396-402.
16. Hausmann E, Allen K, Loza J, Buchanan W, Cavanaugh PF Jr. Validation of quantitative digital subtraction radiography using the electronically guided alignment device/impression technique. J Periodontol 1996; 67 : 895-9.
17. Dunn SM, van der Stelt PF. Recognizing invariant geometric structure in dental radiographs. Dentomaxillofac Radiol 1992; 21 : 142-7.
18. 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.
19. 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; 91 : 369-73.