

# 중첩 불일치 평가기준으로서의 계수공제영상의 계조도 표준편차 연구

조봉혜

부산대학교 치과대학 치과방사선학교실

## The Study of Standard Deviation of Gray Scale Histogram in Digital Subtraction Radiography as a Test Parameter for Superimposition Error

Bong-Hae Cho

*Department of Dental Radiology, College of Dentistry, Pusan National University*

**Purpose** : The aim of this study was to assess the validity of standard deviation of gray scale histogram in digital subtraction radiography as a test parameter for superimposition error.

**Materials and Methods** : Twenty periapical radiographs were used as baseline images and they were copied to exclude the influence of exposure geometry and contrast differences. These subsequent images were linearly displaced by 0.1-0.5 mm in the x-, y- and xy-directions, rotated by 0.5-3° and distorted by angular contraction of 1-5° in x- and y-axis before subtraction. The standard deviations of gray levels in the subtraction images were obtained and paired t-tests were performed. Pearson correlation coefficients(r) were calculated between the standard deviations and the superimposition errors.

**Results** : Linear displacement showed high correlation coefficients of 0.997, 0.997 and 0.995 in x-, y- and xy-axis respectively. Statistically significant different standard deviation existed among all linearly displaced groups( $p < 0.05$ ). Distortion showed relatively low correlation coefficients of 0.982 and 0.959 in x- and y-axis. The standard deviations between the two distortion groups were statistically significant different( $p < 0.05$ ).

**Conclusion** : Standard deviation of gray level distribution in digital subtraction images is satisfactory but not perfect similarity measure to assess the superimposition errors. (*J Korean Oral Maxillofac Radiol 1999;29:417-422*)

**Key words** : radiography, dental; digital subtraction; computer-assisted; periodontal

### I. 서론

계수공제영상은 해부학적 구조물의 잔상을 제거하여 두 방사선사진의 차이만을 나타내는 방법으로 시간경과에 따른 미세한 골 변화를 판별하는데 우수하여 치조골의 평가에 유용하다<sup>1-6)</sup>. 계수공제영상의 질은 두 방사선사진의 기하학적

및 대조도의 표준화와 중첩시의 일치 정도에 의하여 결정된다. 계수공제영상의 평가는 영상의 주관적 판독<sup>7-10)</sup>에 의하거나, 객관적인 수학적 기준에 의하여 이루어져왔는데, 계조도의 절대 차<sup>11-12)</sup>나 표준편차<sup>13-20)</sup> 혹은 이 둘 모두<sup>6,21)</sup>, 공제영상(difference image)의 표준편차<sup>22)</sup>, 차이기능의 엣지(Edges of the difference function)<sup>23)</sup> 및 공제영상의 히스토그램기능의 엔트로피(entropy

of the histogram function of the difference image)<sup>24)</sup>등이 여기에 속한다. 이 중 두 방사선사진의 불일치도를 나타내는 유사성 평가(similarity measure)에 가장 많이 이용된 것은 계조도의 표준편차로, Ludlow 등<sup>13)</sup>과 Sander 등<sup>14)</sup>은 기하학적 재현성을 위한 고정 방법을, Ruttimann 등<sup>15)</sup>은 대조도의 수정 방법을 비교하였고, Wenzel<sup>16)</sup>은 두 방사선사진의 중첩방법에 따른 차이를, Aagaard 등<sup>17)</sup>은 인식점 수에 따른 차이를 분석하였다. 또한 Wenzel 등<sup>18)</sup>은 계수공제영상에서 발생할 수 있는 다양한 구조잔상을 표준편차로 평가하였다.

계수공제영상이 초기 골변화를 판독하는데 우수함에도 불구하고 X-선관에서의 광자발생 변동, 촬영위치 변화, 현상조건 변화, 상 획득(image capture)시의 필름위치 변화 등 두 방사선사진사이의 인위적인 차이로 인한 방법적인 결함을 피할 수 없다<sup>19)</sup>. 그러므로 각 과정에서의 구조적 잔상에 대한 평가 없이는 계수공제영상의 정확한 판독은 불가능하다.

본 연구의 목적은 두 방사선사진의 중첩시 발생하는 불일치도를 계수공제영상의 계조도의 표준편차가 얼마나 정확히 반영하는가를 평가하고, 어떤 중첩 부조화가 상의 질에 가장 많은 영향을 미치는가 알아보기 위한 것이다.

## II. 연구재료 및 방법

부산대학교 병원에 내원한 환자의 방사선 사진 중 치조골의 소실이 거의 없고 제 2 소구치와 제 1 대구치가 중앙에 위치한 적정 흑화도를 가진 20개의 #2 Ekta speed Puls(Kodak, Hemel Hempstead, UK) 치근단 방사선사진을 연구재료로 사용하였다. 각 방사선사진을 Nikon LS-1000 35mm 필름 스캐너(Nikon Inc, Melville, N.J. USA)와 Photoshop software(Adobe Systems Inc., Mountain View, Calif. USA)를 이용하여 화소 크기 50  $\mu\text{m}$ , 256 계조도를 가진 원본 디지털 방사선사진을 만들었다.

중첩되는 방사선사진은 기하학적 및 대조도의 변화를 배제하기 위하여 원본을 복사하여 사용하였고, 복사된 방사선사진은 중첩시의 위치 잘못을 평가하기 위하여 Photoshop software를 이용하여 다음과 같이 이동 혹은 왜곡시켰다.

1. 선상 이동 : x-, y- 및 xy-축 방향으로 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm 씩 이동시켰다.
2. 회전 이동 : 방사선사진의 좌측 상단부를 중심으로 각각 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3도 씩 회전시켰다.
3. 축소왜곡 : 방사선사진의 우측 하단부를 x- 및 y-축 방향으로 각각 1, 2, 3, 4, 5도 씩 축소 왜곡 시켰다.

원본 디지털 방사선사진과 이동 혹은 왜곡된 사본 방사선사진은 127 계조도의 옴셋을 주어 공제하여 선상이동 300개, 회전이동 120개, 왜곡 200개 총 620개의 계수공제영상을 제작하였다. 각 계수공제영상에서 제 2 소구치와 제 1 대구치 사이의 치조정, 치간골 및 인접 치근면을 포함하는 40x80 화소(2mmx4mm) 크기의 사각형 관심 부위를 정하여 계조도의 표준편차를 측정하였다. 관심부위는 각 원본 방사선 사진에서 가장 적합한 위치를 선택하여 동일 원본을 가진 모든 계수공제영상에 선택영역을 복사하여 모두 같은 부위가 측정되도록 하였다. 각 이동 및 왜곡에서의 표준편차, 피어슨 상관계수를 구하고, 동일 이동에서의 paired t-test를 시행하였다.

## III. 연구결과

### 1. 선상이동

x-, y- 및 xy-축 선상 이동시 계수공제영상의 계조도 표준편차의 상관계수는 각각 0.997, 0.997 및 0.995로 매우 높게 나타났다. 평균 표준편차는 y-, x-, xy-축 이동 순으로 작았으며 서로 간 유의성 있는 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ )(table1).

## 2. 회전이동

회전시 계수공제영상의 계조도 표준편차의 상관계수는 0.992로 높았다(table2).

## 3. 축소왜곡

x- 및 y-축 축소왜곡시 계수공제영상의 계조도 표준편차의 상관계수는 각각 0.982와 0.959로 y-축 왜곡 때 가장 낮은 상관계수를 나타내었다. 또한 x- 및 y-축 왜곡간에 유의성있는 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

## IV. 고찰

이상적인 계수공제영상을 얻기 위해서는 서로 다른 두 방사선 사진이 기하학적으로 완전히 일치하여야하고 동일한 대조도를 가져야 한다. 그러나 임상적으로 이러한 기하학적 및 대조도 표준화를 이루기는 거의 불가능하므로 계수공제영상에서 잔존 구조 잔상이 나타나게 되는데 이를 측정하는데 주로 계조도의 표준편차가 이용된다.

Rutimann 등<sup>15)</sup>은 표준편차가 실제 상의 개선을 완전히 반영하지 못할 수도 있지만 더 작은

**Table 1.** Mean standard deviations of the subtraction image and correlation coefficients for linear displacements of radiography

|            | Linear displacement(mm) |      |      |      |      | correlation coefficients |
|------------|-------------------------|------|------|------|------|--------------------------|
|            | 0.1                     | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  |                          |
| SD x-axis* | 7.5                     | 11.3 | 14.9 | 18.1 | 20.9 | 0.997                    |
| y-axis*    | 6.1                     | 8.3  | 10.5 | 12.5 | 14.5 | 0.997                    |
| xy-axis*   | 9.0                     | 14.8 | 19.7 | 24.3 | 29.0 | 0.995                    |

\* Statistically significant difference( $p < 0.05$ ) for x- and y-axis, y- and xy-axis, and x- and xy-axis displacements.

**Table 2.** Mean standard deviations of the subtraction image and correlation coefficients for rotation of radiography

|    | Rotation |      |      |      |      |      | correlation coefficient |
|----|----------|------|------|------|------|------|-------------------------|
|    | 0.5°     | 1°   | 1.5° | 2°   | 2.5° | 3°   |                         |
| SD | 7.3      | 10.6 | 13.1 | 15.6 | 17.7 | 19.6 | 0.992                   |

**Table 3.** Mean standard deviations of the subtraction image and correlation coefficients for distortion by angular contraction of radiography

|            | Angular contraction |      |      |      |      | correlation coefficients |
|------------|---------------------|------|------|------|------|--------------------------|
|            | 1°                  | 2°   | 3°   | 4°   | 5°   |                          |
| SD x-axis* | 6.0                 | 8.8  | 10.5 | 13.2 | 14.9 | 0.982                    |
| y-axis     | 6.7                 | 16.6 | 21.1 | 24.6 | 27.3 | 0.959                    |

\* Statistically significant difference( $p < 0.05$ ) between x- and y-axis angular contractions

표준편차는 범랑질, 상아질, 연조직, 등에서 더 잘 조화되었음을 나타낸다고 하였고, Wenzel<sup>18)</sup>은 방사선 사진 촬영시의 각도변화가 클수록 표준편차가 커졌고, 표준편차가 작을수록 판독할 수 있는 골편단(bone chip edges) 수가 적었다고 보고하였다. Rutimann 등<sup>26)</sup>은 촬영각도의 변화가 커질수록, 저노출일수록 표준편차가 증가하였다고 보고하였다. van der Stelt 등<sup>26)</sup>은 계수공제영상의 유사성 평가(similarity measure)에 있어서 계수공제영상의 표준편차가 촬영각도의 변화를 보여주는데 유용하고 편리한 방법이지만 0.5도 이하의 각도변화에서 약간 부정확하였으므로 좀 더 개선된 방법이 필요하다고 보고하였다.

본 연구에서 중첩시의 불일치와 표준편차의 상관관계를 조사한 바 전반적으로 높은 상관관계를 나타내어 계조도의 표준편차가 중첩시의 불일치를 대체로 잘 반영하였다. 선상이동이 매우 높은 상관계수를 보인 반면, 축소왜곡시 낮은 상관관계를 나타내었다.

선상이동에서는 y-축 이동시 가장 낮은 표준편차를 보였으며, x-, xy-축 서로 간 모두 유의성 있는 차이를 나타내어 x-축으로의 이동이 상에 더 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 그러나 Benn<sup>11)</sup>은 상 획득시의 위치변화가 치조정의 계조도에 미치는 영향 평가에서 수직적 변화가 수평적 변화보다 훨씬 많은 영향을 미쳤음을 보고하고 있다. 이것은 관심부위의 설정 차이에 따른 것으로 Benn은 인접 치근면을 포함하지 않는 치조정만을 관심부위로 설정한 반면 본 연구에서는 치근면도 포함되었기 때문에 수평 변화가 더 많은 영향을 미쳤다. 그러므로 골 높이만을 평가한다면 인접치근을 배제하는 것이 좋고 수직 골 파괴 등 치근 인접골을 평가하기 위해서는 치근면도 포함되어야 한다. 관심부위를 설정하기 위한 예비실험에서 제 2 소구치 전후방 치간골을 포함하는 넓은 관심부위나 제 2 소구치 치근침을 포함하는 치근단 관심부위에서도 모두 변위정도에 따라 계조도의 표준편차가 증가하였다. 회전은 임

상적으로 3도 이상 발생하지 않을 것으로 판단되어 3도 회전까지만 조사하였는데, 선상이동보다는 낮았지만 대체로 높은 상관계수를 나타내어 표준편차가 잔상을 잘 반영한다고 생각되었다. 그러나 축소왜곡, 특히 y-축 방향 왜곡의 경우 상당히 낮은 상관관계를 나타내어 왜곡이 발생할 경우 표준편차로는 구조잔상을 정확히 평가하지 못할 우려가 있다. 실제로 중첩시 선상이동이나 회전 보다는 왜곡이 훨씬 많이 발생할 것으로 생각되는 바 표준편차에 의한 잔상평가가 대체로 만족스럽지만 완전하지는 않다.

Lethmann 등<sup>27)</sup>은 계수공제영상의 객관적인 유사성 평가방법(similarity measure) 8가지를 조사한 결과, 교차상호불일치계수(cross covariance coefficient), 공제영상의 표준편차(standard deviation of the difference image), 계수공제영상의 히스토그램 표준편차(standard deviation of the histogram of the difference image), 공제영상의 히스토그램기능의 엔트로피(Entropy of the histogram function of the difference image)가 대체로 이용가능하지만 전반적으로 공제영상의 히스토그램기능의 엔트로피가 가장 우수하였다고 보고하였다.

지금까지 계수공제영상의 재현성과 보정에 많은 연구<sup>15,17,21,26,28-31)</sup>들이 이루어져 상당한 질적 진전을 이루었지만 이상적이지는 않다. 즉 계수공제영상에는 필연적으로 구조잔상이 내재하게 되는데, 이것을 실제 변화와 어떻게 구별해내는가가 평가의 관건이 된다. 계조도의 표준편차가 전반적인 상의 질을 평가하는데 유용하지만 완전하지는 못한 것 같다. 지금까지 발표된 평가방법에 대한 검증과 더 신뢰성있는 평가방법에 대한 연구가 필요하리라 생각한다.

## 참고문헌

1. Brägger U, Pasquali L, Rylander H, Carnes D, Kornman KS. Computer-assisted densitometric image analysis in periodontal radiography. A methodological study. *J Clin Periodontol* 1988;15:27-37.
2. Wenzel A, Warrer K, Karring T. Digital subtraction radiography in assessing bone changes in periodontal defects following guided tissue regeneration. *J Clin Periodontol* 1992;19:208-13.
3. Gröndahl HG, Gröndahl K. Subtraction radiography for the diagnosis of periodontal bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983;55:208-13.
4. Brägger U. Digital imaging in periodontal radiography. A review. *J Clin Periodontol* 1988;15:551-7.
5. Brägger U, Pasquali L, Kornman KS. Remodelling of interdental alveolar bone after periodontal flap procedures assessed by means of computer-assisted densitometric image analysis(CADIA). *J Clin Periodontol* 1988;15:558-64.
6. Christgau M, Wenzel A, Hiller KA, Schmalz G. Quantitative digital subtraction radiography for assessment of bone density changes following periodontal guided tissue regeneration. *Dentomaxillofac Radiol*. 1996;25:25-33.
7. Gröndahl K, Gröndahl HG, Webber RL. Influence of variations in projection geometry on the detectability of periodontal bone lesions. *J Clin Periodontol* 1984;11:411-20.
8. Davis M, Allen KM, Hausmann E. Effects of small angle discrepancies on interpretations of subtraction images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:397-400.
9. Versteeg KH, van der Stelt PF. Effect of logarithmic contrast enhancement on subtraction images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1995;80:479-86.
10. Byrd V, Mayfield-Donahoo T, Reddy MS, Jeffcoat MK. Semiautomated image registration for digital subtraction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1998;85:473-8.
11. Benn DK. Limitations of the digital image subtraction technique in assessing alveolar bone crest changes due to misalignment errors during image capture. *Dentomaxillofac Radiol* 1990;19: 97-104.
12. Okano T, Mera T, Ohki M, Ishikawa I, Yamada N. Digital subtraction of radiograph in evaluating alveolar bone changes after initial periodontal therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:258-62.
13. Ludlow JB, Peleaux CP. Comparison of stent versus laser-and cephalostat-aligned periapical film-positioning techniques for use in digital subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;77:208-15.
14. Sander L, Wenzel A, Hintze H, Karring T. Image homogeneity and recording reproducibility with 2 techniques for serial intra-oral radiography. *J Periodontol* 1996;67:1288-91.
15. Ruttimann UE, Webber RL, Schmidt E. A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. *J Periodontol Res*. 1986;21:486-95.
16. Wenzel A. Effect of manual compared with reference point superimposition on image quality in digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1989;18:145-50.
17. 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.
18. Wenzel A, Sewerin I. Sources of noise in digital subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991;71: 503-8.
19. Okano T, Ohki M, Mera T, Soejima H, Ishikawa I, Yamada N. Quantitative evaluation of proximal bone lesions using digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1998;17:99-103.
20. Brägger U, Hammerle CHF, Mombelli A,

- Bürgin W, Lang NP. Remodelling of periodontal tissues adjacent to sites treated according to the principles of guided tissue regeneration(GTR). *J Clin Periodontol* 1992;19:615-24.
21. Griffiths GS, Brägger U, Fourmouis I, Sterne JAC. Use of an internal standard in subtraction radiography to assess initial periodontal bone changes. *Dentomaxillofac Radiol* 1996;25: 76-81.
  22. Dunn SM, van der Stelt PF, Ponce A, Fenesy K, Shah S. A comparison of two registration technique for digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1993;22:77-80.
  23. Samarabandu J, Allen KM, Hausmann E, Acharya R. Algorithm for automated alignment of radiographs for image subtraction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;77:75-9.
  24. Lehmann T, Schmitt W, Repeges R, Sovokar A. Mathematical quality standards for the digital free-hand subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1995;24:98.
  25. Rutimann U, Okano T, Gröndahl HG, Gröndahl K, Webber RL. Exposure geometry and film contrast differences as bases for incomplete cancellation of irrelevant structures in dental subtraction radiography. *Proc SPIE* 1981;314:372-7.
  26. van der Stelt PF, Ruttimann UE, Webber RL. Determination of projections for subtraction radiography based on image similarity measurements. *Dentomaxillofac Radiol* 1989;18:113-7.
  27. Lehmann T, Sovakar A, Schmitt W, Repeges R. A comparison of similarity measures for digital subtraction radiography. *Comput Biol Med* 1997;27:151-67.
  28. Duckworth JE, Judy PF, Goodson JM, Socransky SS. A Method for the geometric and densitometric standardization of intraoral radiographs. *J Periodontol* 1983; 54:435-40.
  29. Dunn SM, van der Stelt PF. Recognizing invariant geometric structure in dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21:142-47.
  30. Ostuni J, van der Stelt PF, Dunn SM. Registration of dental radiographs using projective geometry. *Dentomaxillofac Radiol* 1993;22:199-203.
  31. Lehmann T, Gröndahl K, Gröndahl HG, Schmitt W, Spitzer K. Observer-independent registration of perspective projection prior to subtraction of in vivo radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 1998;27:140-50.

Address : Prof. B.H. Cho, Department of Dental Radiology, College of Dentistry, Pusan National University, Pusan, Korea 602-739  
 Tel : 051-240-7595 Fax : 051-245-8388  
 E-mail : bhjo@hyowon.pusan.ac.kr