

# 정상 이하선의 전산화단층사진상의 프랙탈차원에 관한 연구

이상진, 허민석, 유동수

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 치학연구소

## Fractal Dimension of CT Images of Normal Parotid Glands

Sang-Jin Lee, Min-Suk Heo, Dong-Soo You

Department of Oral and Maxillofacial Radiology & Dental Research Institute,  
College of Dentistry, Seoul National University

**Purpose:** This study was to investigate the age and sex differences of the fractal dimension of the normal parotid glands in the digitized CT images.

**Materials and methods:** The six groups, which were composed of 42 men and women from 20 s, 40's and 60's and over were picked. Each group contained seven people of the same sex. The normal parotid CT images were digitized, and their fractal dimensions were calculated using Scion ImagePC program.

**Results:** The mean of fractal dimensions in males was  $1.7292(\pm 0.0588)$  and  $1.6329(\pm 0.0425)$  in females. The mean of fractal dimensions was 1.7617, in young males 1.7328 in middle males, and 1.6933 in old males. The mean of fractal dimensions was 1.6318, in young females 1.6365 in middle females, and 1.6303 in old females. There was no statistical difference in fractal dimension between left and right parotid gland of the same subject( $P>0.05$ ). Fractal dimensions in male were decreased in older group( $P<0.05$ ) and larger than female in same age group( $P<0.05$ ). But fractal dimensions in female had a tendency to decrease in older group but no statistical difference between ages( $P>0.05$ ).

**Conclusions:** The fractal dimension of parotid glands in the digitized CT images will be useful to evaluate the age and sex differences. (*J Korean Oral Maxillofac Radiol 1999;29:201-206*)

**Key words :** Fractal dimension, Parotid gland, CT, Digitalization

### I. 서 론

Mandelbrot에 의해 개발된 프랙탈 구조모델은 자연계에 존재하는 여러 가지 형상의 특징을 간결하게 표현할 수 있다는 사실로 인하여 최근 주목을 받기 시작하였다<sup>1)</sup>. 프랙탈의 수학적 속성은 확대나 축소에 관계없이 동일한 모양의 프랙탈 형태를 나타낼 수 있는 것이다<sup>2)</sup>. 즉 프랙탈 형태의 일부분의 확대는 원래의 형태와 동일하거나 또는 유사한 모양을 갖으며 이러한 프랙탈 형

태의 특징은 자기유사성, 또는 모든 크기(scale)에 있어서의 복잡성<sup>3)</sup>이다. 프랙탈기하학으로는 세포크기에서부터 다양한 크기에 이르는 지형의 표면을 표현할 수 있으며 고전적 기하학이 표현하지 못했던 사물의 표면을 특징화하여 자연계에 존재하는 여러 형태를 측정하거나 설명할 수 있다<sup>4,5)</sup>. 또한 프랙탈을 이용하여 동적인 현상도 표현할 수 있는데 예를 들면 자연계에 존재하는 무질서한 운동을 혼돈이론으로 표현할 수 있다.

이러한 특징으로 인하여 의학분야에서도 프랙탈모델은 심장의 His-Purkinje system이나

기관지계의 분지와 같은 생물학적인 형태를 설명하는데 응용되고 있다<sup>6)</sup>. 의료영상에 있어서도 프랙탈차원은 신경세포의 수상돌기의 묘사<sup>7)</sup>, 간의 핵의학스캔의 분석<sup>8)</sup>, 유방조영상의 실질형태 특징화<sup>9)</sup> 등에 이용되고 있으며 골 영상에 대한 프랙탈 분석은 골다공증 진단에 사용되고 있다<sup>10,11)</sup>.

프랙탈차원에 관한 치의학분야에서의 연구는 주로 표준구내방사선사진을 이용한 치조골 골밀도의 평가와 치조골 골밀도의 진단학적 의의를 찾는 데 집중되었다. Ruttimann 등<sup>12)</sup>은 표준구내 방사선사진을 이용하여 구한 치조골 프랙탈차원의 골다공증에 대한 진단학적인 의미를 부여하였으며 Southard 등<sup>13)</sup>은 치조골의 방사선사진에서 프랙탈차원을 구하여 상악골의 골다공증을 진단할 수 있다고 하였고 이<sup>14)</sup>는 치조골의 탈회가 진행될수록 프랙탈차원이 감소한다고 하였다. 그러나 다른 연조직에 대한 연구는 아직 없었으며 다만 의료영상분야에서 유방조영상의 실질형태를 특징화<sup>9)</sup>하는 데에 이용되었을 뿐이다. 따라서 저자는 정상 이하선의 전산화단층사진을 이용하여 성별, 연령별 프랙탈차원을 구하여 서로 비교해 보고자 하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1) 연구재료

20대, 40대, 60대 이상의 정상인 남녀 각각 7명씩을 연령별 6개의 군으로 분류하였으며 타액선에 영향을 줄 수 있는 내과적 질환이나 유전

병이 있는 환자, 타액선 질환이 의심되거나 구강 건조증이 있는 환자, 방사선 치료를 받은 적이 있는 환자 등은 제외하였다(Table 1).

### 2) 전산화단층사진 촬영

정상 이하선의 표준화된 전산화단층사진상을 얻기 위해 IQ scanner(Picker International, USA)를 이용하여 130 kVp, 250 mAs의 조건 하에서 F-H 평면에 평행하게 5 mm의 연속적인 횡단면상을 얻었고 색조폭은 400, 색조준위는 50으로 하였다.

### 3) 영상의 디지털화

얻어진 이하선의 전산화단층사진을 CCD(charge-coupled device)를 이용한 linear photodiode array solid state scanner인 Nikon Scantouch(Nikon Co., Japan)으로 500 DPI의 해상도와 8 bit depth의 색조로 디지털화시켰다.

### 4) 프랙탈차원 결정

디지털화된 이하선의 전산화단층사진상에서 가장 이하선의 실질 조직이 잘 나타나고 인공물(artifact)이 없는 부위를 저자가 임의로 선택하여 100 x 100 pixel의 관심영역(region of interest)을 설정하였다. 설정된 각각의 관심영역의 프랙탈차원은 NIH(National Institutes of Health)에서 제공한 매킨토시용 프로그램을 IBM 호환 PC에서 사용할 수 있도록 Scion사에서 제공한 Scion ImagePC(ver. Beta 3b) 프로그램을 이용하여 구하였다.

Table 1. Demographic characteristics of subjects

Sex	Age group	Mean age(±s.d.)	Age range	Number
Male	Young	24.2(±2.7)	20-29	7
	Middle	43.4(±2.9)	40-49	7
	Old	69.4(±5.7)	over 60	7
Female	Young	23.5(±1.5)	20-29	7
	Middle	46.3(±2.2)	40-49	7
	Old	68.3(±7.0)	over 60	7

즉 회색조의 범위를 auto-thresholding 과정을 거쳐 Richardson 법칙을 이용하여 이하선의 전산화단층사진의 흑백으로 표현된 실질조직을 1 pixel에서 50 pixel 크기의 척도(ruler)를 이용해 log(ruler length)-log plot(perimeter length)의 기울기, 즉 프랙탈지수를 구한 후 아래와 같은 방법으로 프랙탈차원을 구하였다<sup>15,16)</sup>.

$$D = 1-S^{17}$$

D = fractal dimension

S = fractal index

얻어진 프랙탈차원값은 ANOVA, student t-test, paired t-test로 통계처리하여 연령별, 성별, 좌우별로 비교하였다.

### III. 연구성적

20대, 40대, 60대 이상의 정상인 남녀 각각 7명의 좌우 이하선에서 얻어진 프랙탈차원값은 Table 2와 같다.

20대 남성군의 프랙탈차원의 평균값은 1.7617, 40대 남성군은 1.7328, 60대 이상 남성군은 1.6933으로 연령이 증가함에 따라 프랙탈차원은 유의성 있게 감소하였다(P<0.05)(Table 3). 반면에 20대 여성군의 프랙탈차원의 평균값은 1.6318, 40대 여성군은 1.6365, 60대 이상 여성군은 1.6303으로 연령별로 유의성 있는 차이가 없었다(Table 3).

남성의 프랙탈차원은 여성에 비해 높게 나타났으며 통계학적으로 유의성 있는 차이가 있었다(Table 4).

동일인에서 좌우 이하선의 프랙탈차원값은

Table 2. Fractal dimension of each subject

Age group	Sex	Right parotid gland							Left parotid gland						
Young	Male	1.769	1.757	1.760	1.721	1.771	1.789	1.789	1.727	1.809	1.749	1.758	1.717	1.769	1.779
	Female	1.635	1.634	1.562	1.583	1.711	1.651	1.655	1.636	1.633	1.563	1.644	1.629	1.634	1.657
Middle	Male	1.737	1.865	1.776	1.684	1.771	1.601	1.733	1.749	1.618	1.652	1.729	1.762	1.788	1.795
	Female	1.596	1.722	1.613	1.627	1.660	1.632	1.641	1.640	1.659	1.622	1.626	1.626	1.583	1.666
Old	Male	1.758	1.724	1.717	1.674	1.747	1.619	1.627	1.744	1.693	1.741	1.672	1.728	1.634	1.641
	Female	1.720	1.660	1.854	1.633	1.603	1.561	1.588	1.718	1.631	1.633	1.593	1.696	1.567	1.567

Table 3. Fractal dimension of each age group

Sex	Age group	Mean (±s.d.)
Male	Young	1.7617(±0.0266)*
	Middle	1.7328(±0.0760)
	Old	1.6933(±0.0486)*
Female	Young	1.6318(±0.0379)
	Middle	1.6365(±0.0338)
	Old	1.6303(±0.0543)

\* : statistically significant (by ANOVA)

**Table 4.** Fractal dimension of male and female

Sex	Mean ( $\pm$ s.d.)
Male	1.7292( $\pm$ 0.0588)*
Female	1.6329( $\pm$ 0.0425)*

\* : statistically significant (by student t-test)

통계학적으로 유의성 있는 차이가 없었다 (P>0.05)(Table 2).

#### IV. 총괄 및 고안

프랙탈이라는 기하학적 개념<sup>11)</sup>이 도입된 이후 치의학에 있어서의 프랙탈차원의 연구는 주로 골 밀도와 연관된 것이었으나 골밀도의 증가와 프랙탈차원과의 상관관계는 저자에 따라 상반된 결과를 나타내었다. Ruttimann 등<sup>12)</sup>은 in vitro 실험에서 치조골이 탈회가 될수록 프랙탈차원이 증가한다고 보고하였고 방사선 조사각의 작은 변화는 프랙탈차원에 영향을 미치지 않는다고 하였으나 Southard 등<sup>13)</sup>은 상악골의 골다공증 모의실험을 통하여 골의 탈회가 진행할수록 프랙탈차원이 감소한다고 보고하였고 방사선 조사각의 작은 변화도 프랙탈차원에 영향을 미친다고 하였다.

한편 Shroot 등<sup>18)</sup>은 방사선 조사각의 작은 변화는 프랙탈차원에 영향을 미치지 않으나 관심 영역의 형태나 크기는 치조골의 프랙탈차원에 많은 영향을 미치며 골밀도가 증가함에 따라 프랙탈차원도 증가한다고 하였다. 이<sup>14)</sup>의 골다공증의 표식자로서 방사선학적 프랙탈차원의 유용성에 관한 연구에서 골 시편의 탈회도가 높을수록 프랙탈차원은 감소한다고 하였는데 이러한 결과는 밀도가 크면 클수록 프랙탈차원이 증가한다는 다른 선학들의 프랙탈 이론의 해석<sup>13,16,17,19)</sup>과 일치한다.

또한 Chen 등<sup>20)</sup>은 프랙탈분석에 있어서 여러 가지 매개변수의 변화에 따라 프랙탈차원도 변화하며 이러한 매개변수에는 프랙탈차원의 결정 방법, digital technique, systemic noise,

modulation transfer function 등이 있다고 하였다. 따라서 다른 방법으로 동일한 프랙탈차원값을 결정하기 위해서는 연구자는 어떻게 이론적인 self-similar scale을 실제상황에 연관시키느냐에서부터 시작하여야 한다. 이밖에 방사선에 의한 상과 실제 단면상과는 서로 다른 프랙탈 차원을 가지고 있다고 알려져 있다<sup>13)</sup>.

Richardson 법칙에 의하여 사물의 자기유사성은 다양한 크기의 척도에 있어서도 기하학적인 특징은 일치하거나 유사하며 이는 다음과 같이 정의가 내려졌다<sup>13)</sup>.

$$L = \lambda \epsilon^{1-D} \text{ or } \log(L) = (1-D)\log(\epsilon) + \log(\lambda)$$

L = total curve length,  
 $\epsilon$  = elemental caliper length (ruler length)  
 D = fractal dimension,  $\lambda$  = scaling constant

Richardson 법칙에 의해 복잡한 프랙탈곡선일수록 급한 기울기와 큰 프랙탈차원을 갖는다. 즉 D = 1.0은 부드러운 곡선을 의미하나 D = 1.99는 복잡한 곡선을 의미하고 척도가 작으면 작아질수록 총길이는 기하급수적으로 커지게 되므로 그러한 상관관계를 밝힘으로써 프랙탈차원을 결정할 수 있다.

이번 연구에서 디지털 영상의 관심영역을 선택할 때 모든 상이 동일한 구조를 포함하도록 노력하였고 이 상을 Scion ImagePC 프로그램 상의 thresholding이라는 과정을 거쳐 흑백으로 표현하였다. 관심영역의 크기는 프랙탈차원에 영향을 미치고 일반적으로 동일한 해상도에 있어서 관심영역의 크기의 감소는 프랙탈차원의 감소를 가져온다<sup>20)</sup>. 또한 사각형의 window 역시 경계부분의 불연속성으로 인하여 변화되기 때문에 다양

한 형태의 data-windowing technique이 제안되었다<sup>21,22</sup>. 앞으로도 관심영역의 형태와 위치를 결정하고 회색조의 값을 thresholding하는 방법에 대하여 보다 많은 연구가 필요하다.

이 등<sup>23</sup>의 연구에서 이하선의 CT번호는 연령이 증가함에 따라 감소한다고 하였는데 이것을 사물의 밀도가 클수록 프랙탈차원이 증가한다는 프랙탈이론의 해석<sup>13,16,17,19</sup>과 비교하여 볼 때, 남성에서 연령증가에 따라 프랙탈차원이 감소하는 것은 연령증가에 따라 이하선 조직의 지방변성, 섬유화<sup>24</sup> 등과 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한 동일 연령군의 이하선에서 남성이 여성보다 큰 프랙탈차원을 보이는 것은 남성의 이하선의 실질조직이 여성에 비하여 보다 큰 밀도를 가지고 있기 때문으로 생각된다.

프랙탈차원에 의한 특성은 구조분석의 한 방법으로 pixel gray level variations의 공간적 분포의 양적평가이다<sup>25</sup>. 구조 분석의 일반적인 접근방법에는 통계학적인 방법과 구조적인 방법이 있으며<sup>26</sup> 이러한 구조 분석을 통하여 유방조영상의 실질형태를 분석함으로써 유방암의 위험 정도의 평가에 이용되어 왔으며<sup>27,28</sup> 현재에도 많은 연구가 진행되고 있다<sup>9</sup>.

따라서 이하선 실질조직의 프랙탈차원의 구조분석을 통하여 이하선의 암종에 대한 위험인자의 양적 평가도 가능할 수도 있고 실질조직의 변화양상도 평가할 수 있어 앞으로 보다 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

이번 연구에서 프랙탈 차원은 남성에 있어서 연령이 증가함에 따라 감소하였으며 동일 연령군에서는 남성이 여성에 비해 프랙탈차원이 컸다 ( $P < 0.05$ ). 또한 동일인에서 좌우 이하선의 프랙탈차원은 유의성 있는 차이가 없었으며 여성에 있어서의 프랙탈차원은 연령이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 유의성 있는 차이는 없었다 ( $P > 0.05$ ).

## 참고문헌

1. Mandelbrot BB. The fractal geometry of the nature. New York: WH Freeman and Company, 1983:25-33.
2. Feder J. Fractals. New York: Plenum Press, 1988:184-9.
3. Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. Chaos and fractals: new frontiers of science. New York: Springer-Verlag, 1992.
4. Avnir D, Farin D, Pfeifer P. Molecular fractal surface. Nature 1984;308:261-3.
5. Burrough PA. Fractal dimensions of landscapes and other enviromental data. Nature 1981;294:240-2.
6. West BJ, Goldberger AL. Physiology in fractal dimensions. Am Scientist 1987; 75:354-65.
7. Smith JG Jr, Marks WB, Lange GD, Sheriff WH Jr, Neale EA. A fractal analysis of cell images. J Neurosci Methods 1989;27:173-80.
8. Cargill EB, Barret HH, Fiete RD, Ker M, Patton DD, Seeley GW. Fractal physiology and nuclear-medicine scans. SPIE Proc Medical Imaging III 1989;1092:2-9.
9. Caldwell CB, Stapleton SJ, Holdsworth DW, et al. Characterisation of mammographic parenchymal pattern by fractal dimension. Phys Med Biol 1990;35:235-47.
10. Lundahl T, Ohley WJ, Kay SM, Shiffert R. Fractional Brownian motion: a maximum likelihood estimator and its application to image texture. IEEE Trans Med Im 1986;MI-5:152-61.
11. Kuklinski WS, Chandra K, Ruttimann UE, Webber RL. Application of fractal texture analysis to segmentation of dental radiographs. SPIE Proc Medical Imaging III 1989;1092:111-7.
12. Ruttimann UE, Webber RL, Hazelring JB. Fractal dimension from radiographs of peridental alveolar bone. Oral Surg 1992; 74:98-110.
13. Southard TE, Southard KA, Jakobson IR,

- Hillis SL, Namjim CA. Fractal dimension in radiographic analysis of alveolar process bone. *Oral Surg* 1996; 82:569-76.
14. 이견일. 골다공증 표식자로서 방사선학적 fractal dimension의 유용성에 대한 연구. *치과방사선* 1998;28:17-23.
  15. Lynch JA, Hawkers DJ, Buckland-Wright JC. Analysis of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees using fractal signature. *Phy Med Biol* 1991;36:709-722.
  16. Wilding RJC, Slabbert JCG, Kathree H, Owen CP, Chrombie K, Delpont P. The use of fractal analysis to reveal remodeling in human alveolar bone following the placement of dental implant. *Arch Oral Biol* 1995;40:61-72.
  17. Caligiuri P, Giger ML, Favus M. Multifractal radiographic analysis of osteoporosis. *Med Phys* 1994;21:503-508.
  18. Shroud MK, Hildebolt CF, Potter BJ. The effect of varying the region of interest on calculations of fractal index. *Dentomaxillofac Radiol* 1997;26:295-298.
  19. Majumber S, Weinstein RS, Prasad RR. Application of fractal geometry techniques to the study of trabecular bone. *Med Phy* 1993;20:1611-1619.
  20. Chen J, Zheng B, Chang Y-H, Towers JD, Gur D. Fractal analysis of trabecular patterns in projection radiographs: an assessment. *Invest Radiol* 1994;29:624-629.
  21. Boomfield P. Fourier analysis of time series—an Introduction. New York, NY:John Wiley;1976.
  22. Oppenheim AV, Schafer RW. Discret-time signal processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall;1989.
  23. 이상철, 박태원. 전산화 단층사진을 이용한 타액선의 정량분석에 관한 연구. *인쇄중*.
  24. Tencate AR. Oral histology : Development, structure & fuction. 2nd ed. Mosby Company,1985:284-285.
  25. Haralick RM, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification. *IEEE Trans Syst Man Cybernet* 1973; SMC-3, 610-621.
  26. Haralick RM. Statistical and structural approaches to texture. *Proc. IEEE* 1979; 67:786-804.
  27. Wolfe JN. Breast patterns as an index of risk for developing breast cancer. *AJR* 1976;126:1130-9.
  28. Wolfe JN, Albert S, Belle S et al. Breast parenchymal pattern : analysis of 332 incident breast carcinoma. *AJR* 1982;37: 2486-92.
- Address : Dr. Min-Suk Heo, Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University, 28-22, Yeongun-dong, Chongno-ku, Seoul, 110-749, KOREA.  
Tel : 02-760-2645 Fax : 02-762-8581  
E-mail : hmslsh@snu.ac.kr