

구내디지털방사선영상의 JPEG과 wavelet 압축방법 비교

단국대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
김은경

Comparison of JPEG and wavelet compression on intraoral digital radiographic images

Eun-Kyung Kim

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Dankook University

ABSTRACT

Purpose : To determine the proper image compression method and ratio without image quality degradation in intraoral digital radiographic images, comparing the discrete cosine transform (DCT)-based JPEG with the wavelet-based JPEG 2000 algorithm.

Materials and Methods : Thirty extracted sound teeth and thirty extracted teeth with occlusal caries were used for this study. Twenty plaster blocks were made with three teeth each. They were radiographically exposed using CDR sensors (Schick Inc., Long Island, USA). Digital images were compressed to JPEG format, using Adobe Photoshop v.7.0 and JPEG 2000 format using Jasper program with compression ratios of 5 : 1, 9 : 1, 14 : 1, 28 : 1 each. To evaluate the lesion detectability, receiver operating characteristic (ROC) analysis was performed by the three oral and maxillofacial radiologists. To evaluate the image quality, all the compressed images were assessed subjectively using 5 grades, in comparison to the original uncompressed images.

Results : Compressed images up to compression ratio of 14 : 1 in JPEG and 28 : 1 in JPEG 2000 showed nearly the same the lesion detectability as the original images. In the subjective assessment of image quality, images up to compression ratio of 9 : 1 in JPEG and 14 : 1 in JPEG 2000 showed minute mean paired differences from the original images.

Conclusion : The results showed that the clinically acceptable compression ratios were up to 9 : 1 for JPEG and 14 : 1 for JPEG 2000. The wavelet-based JPEG 2000 is a better compression method, comparing to DCT-based JPEG for intraoral digital radiographic images. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2004; 34 : 117-22)

KEY WORDS : Image Compression; Radiography, Dental, Digital; JPEG ; JPEG 2000

서 론

지난 20여 년간 디지털영상 기술의 발전으로 필름이 없는 병원, 필름이 없는 방사선과가 실현 가능하게 되었다. Picture Archiving and Communication System (PACS)은 디지털 의료영상의 저장 및 전송 시스템으로, 1999년 국내 건강보험공단에서 full PACS가 도입된 병원에 PACS 가산료를 인정해 주기 시작하자 국내의 의료원, 치과대학 병원

들이 속속 PACS를 도입하여 필름이 없는 병원 시대가 열리게 되었다. PACS 또는 다양한 디지털 의학영상처리 시스템으로 영상의 진단과 관리가 편리해졌음에도 hardware와 software에서 많은 기억장치의 할당을 필요로 하는 영상 파일로 인해서 기억 장치와 network 부하를 높이는데 지속적인 노력과 비용이 들게 된다. 급속도로 증가하는 영상 파일의 용량을 줄이기 위해 압축을 시행하는데, 영상 파일의 압축 알고리즘은 “무손실(lossless) 압축”과 “손실(lossy) 압축”으로 분류된다. 전자는 원래 영상의 정보를 픽셀 단위로 보존하는 방법으로 3 : 1 이상의 압축율을 얻을 수 없으며, 후자는 보다 높은 압축율을 얻을 수 있으나 일부 정보의 손실이 발생하는 것으로 JPEG, wavelet 압축 등이 여기에 속한다.¹⁻³ 현재 가장 많이 사용되고 있는 의료영상의 압축 방법은 JPEG 압축이나, 이 방식은 일정 비율

*이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.
접수일 : 2004년 6월 14일; 심사일 : 2004년 6월 15일; 채택일 : 2004년 7월 26일
Correspondence to : Prof. Eun-Kyung Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Dankook University San 7-1, Shinboo-dong, Cheonan, Choongnam, Korea
Tel) 82-41-550-1922, Fax) 82-41-553-3707
E-mail) ekkim@dku.edu

이상으로 압축하면 블록 모양의 artefact가 발생하는 등 몇 가지 한계점이 있어, DICOM WG (working group) 4는 의료영상의 표준 압축방법으로 JPEG, RLE, JPEG-Lossless 압축 방식 외에 추가로 JPEG 2000을 채택하였다.² JPEG 2000 압축방법은 JPEG압축에서 사용되는 discrete cosine transformation대신에 wavelet transformation을 사용하는 새로운 압축 방식으로, 영상의 질 저하 없이 더욱 높은 압축율을 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다.^{2,4} 1994년 진단방사선 과학 영역에서 wavelet압축이 소개된 이래 의료용 영상에 대한 많은 연구가 보고^{2,3,5-15} 되었으나, 치의학 영상에 대해서는 JPEG의 영향에 관한 연구보고¹⁶⁻²⁰는 상당수 있지만 wavelet압축이 치의학 영상에 미치는 영향에 관한 연구보고는 미미하다.^{1,4,15}

본 연구에서는 치과에서 가장 많이 판독하는 치아 우식증의 구내디지털방사선영상 파일을 discrete cosine transformation을 이용하는 JPEG 압축 알고리즘과 wavelet transformation을 이용하는 JPEG 2000 압축 알고리즘 두 가지 방법으로 압축하여 병소의 판독능이 저하되지 않고, 주관적인 영상의 질의 손실이 적으면서 압축률이 높은 적절한 압축 알고리즘과 압축률을 찾아내고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

발치된 치아 중 조직학적 검사로 교합면 치아 우식증이 없는 소구치나 대구치 30개와 교합면 치아 우식증이 있는 소구치나 대구치 30개 총 치아 60개를 연구재료로 하였다.

2. 연구방법

발치된 소구치나 대구치를 치아의 인접면 중앙부가 일직선상에 오도록 석고 블록 내에 치아 세 개씩 매식하여 블록을 제작하였다. 촬영시 치조골의 효과를 내기 위하여 블록을 만들 때 튜브를 첨가하였다. 연조직과 유사한 방사선 투과상을 갖는 2cm 두께의 아크릴릭 판을 치아와 방사선원 사이에 위치시키고 방사선원-치아 간의 거리 30cm, 필름 - 치아 간의 거리 1cm를 유지하도록 표준화하여 촬영하였다. 구내촬영기는 70 kVp, 7 mA의 조건을 갖는 HD-70WII (Asahi Roentgen Inc. Co., Kyoto, Japan)를 이용하였

고 노출시간은 0.12초로 하여 CMOS type인 CDR 센서 (Schick Inc., Long Island, USA)가 부착된 구내디지털영상시스템으로 평행 촬영하였다. 촬영한 영상을 BMP format으로 저장한 후 Adobe Photoshop v.7.0 프로그램 (Adobe Systems Inc., San Jose, USA)을 이용하여 JPEG 압축을, JasPer v1.7 프로그램 (<http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper>)을 이용하여 JPEG 2000압축을 각각 5:1, 9:1, 14:1, 28:1로 압축 시행하여 압축한 영상과 압축 전 원본 영상을 17인치 LCD 모니터 (Magellan 700FS, Hansol Co., Seoul, Korea) 상에서 iBrowser v.1.4 프로그램 (fCoder, Inc., Vancouver, Canada)을 이용하여 3명의 구강악안면방사선학을 전공한 의사에게 다음과 같은 방법으로 평가하도록 하였다. 이때 각 영상들을 무작위로 모니터 상에서 관찰하게 하였으며, 영상 조작은 허용하지 않았다.

먼저 병소의 판독능을 평가하기 위해, 모든 영상을 세 명의 판독자가 독립적으로 병소의 존재 가능성에 대해 5등급 (1: definitely absent; 2: probably absent; 3: equivocal; 4: probably present; 5: definitely present)으로 평가하게 하고, 압축하지 않은 영상을 gold standard로 하여 ROC분석을 수행하였다.

또한 영상의 질을 주관적으로 평가하기 위하여 세 명의 판독자로 하여금 원본 영상과 비교 평가하여 5등급 (1: definitely unacceptable for diagnosis; 2: probably unacceptable; 3: equivocal; 4: probably acceptable; 5: definitely acceptable for diagnosis)으로 평가점을 매기도록 하였다. 압축하지 않은 영상을 gold standard로 하여 paired sample t-test를 하였다.

ROC 분석과 paired sample t-test는 SPSS 통계 프로그램 v.9.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 분석하였다.

결 과

1. 병소의 판독능 평가

JPEG으로 압축하기 전의 원래 영상과 압축 후 영상에서 병소 판독능을 비교하기 위해 압축 전 영상을 gold standard로 하여 각 압축률에서 ROC 분석을 수행한 결과는 Table 1과 같다. 5:1, 9:1, 14:1 압축률에서의 Az 값 (ROC 곡선 아래의 면적)은 0.997, 0.996, 0.995로 거의 1에 가까

Table 1. Area under receiver operating characteristics curves (Az) and its standard error (SE) for each observer and for combined responses (pooled data), for all JPEG compression ratios tested

Compression ratio	Observer 1		Observer 2		Observer 3		Pooled	
	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE
5:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.990	0.010	0.997	0.002
9:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.984	0.012	0.996	0.003
14:1	0.998	0.003	1.000	0.000	0.988	0.011	0.995	0.003
28:1	0.916	0.036	0.906	0.044	0.954	0.024	0.926	0.019

운 값을 보여 원래 영상의 병소 판독능과 거의 동일한 판독능을 가지는 것을 알 수 있었으며, 28:1 압축률에서의 Az 값은 0.926으로 다소 떨어지는 값을 보였다.

JPEG 2000 압축의 경우 역시 압축 전 영상을 gold standard로 하여 각 압축률에서 ROC 분석을 수행한 결과는 Table 2와 같다. 5:1, 9:1, 14:1, 28:1 모든 압축률에서의

Az 값은 각각 0.993, 0.992, 0.984, 0.990으로 네 가지 압축률 모두에서 원래 영상의 병소 판독능과 거의 동일한 판독능을 가지는 것을 알 수 있었다.

2. 영상의 질의 주관적인 평가

JPEG으로 압축한 영상과 원본 영상(Fig. 1)의 질을 5등

Table 2. Area under receiver operating characteristics curves (Az) and its standard error (SE) for each observer and for combined responses (pooled data), for all JPEG2000 compression ratios tested

Compression ratio	Observer 1		Observer 2		Observer 3		Pooled	
	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE
5:1	0.976	0.025	1.000	0.000	0.999	0.001	0.993	0.006
9:1	0.975	0.025	1.000	0.000	0.998	0.003	0.992	0.007
14:1	0.971	0.026	0.977	0.026	0.998	0.003	0.984	0.010
28:1	0.973	0.027	0.998	0.003	0.999	0.002	0.990	0.007

Table 3. Results of paired sample t-test by comparing recon-structed images (JPEG) with original images at a confidence level of 99%

Compression ratio	Mean	Paired difference					t	P value
		Mean	Standard deviation	Standard error mean	99% Confidence interval of the difference			
					Lower	Upper		
5:1	4.394 4.311	0.083	0.471	0.035	-0.01	0.17	2.373	0.019
9:1	4.394 4.067	0.327	0.615	0.046	0.21	0.45	7.153	0.000
14:1	4.394 3.189	1.205	1.117	0.083	0.99	1.42	14.478	0.000
28:1	4.394 1.050	3.344	0.735	0.055	3.20	3.49	61.066	0.000

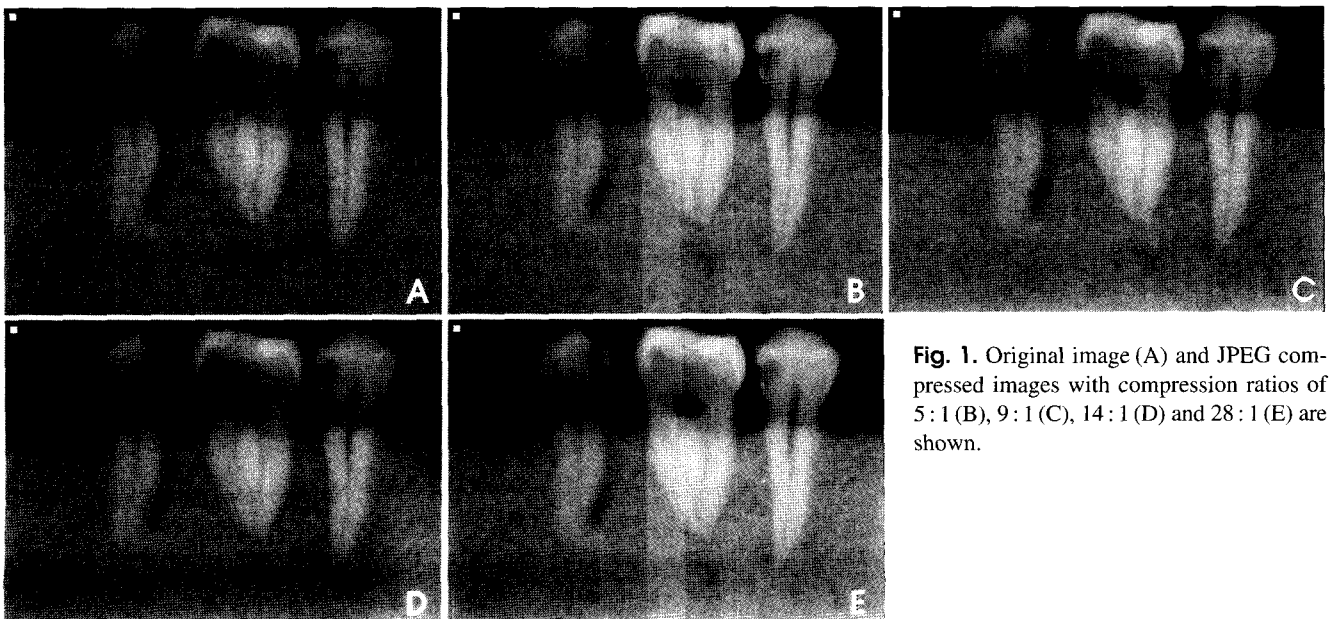


Fig. 1. Original image (A) and JPEG compressed images with compression ratios of 5:1 (B), 9:1 (C), 14:1 (D) and 28:1 (E) are shown.

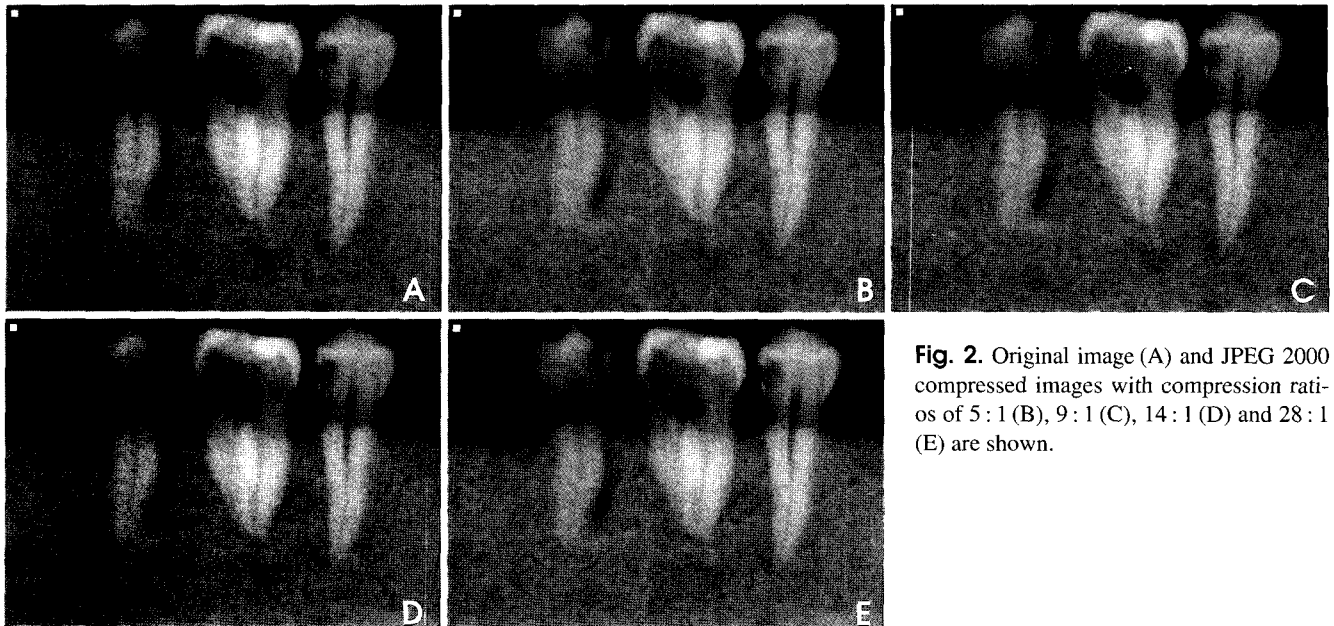


Fig. 2. Original image (A) and JPEG 2000 compressed images with compression ratios of 5 : 1 (B), 9 : 1 (C), 14 : 1 (D) and 28 : 1 (E) are shown.

Table 4. Results of paired sample t-test by comparing reconstructed images (JPEG 2000) with original images at a confidence level of 99%

Compression ratio	Mean	Paired difference					t	P value
		Mean	Standard deviation	Standard error mean	99% Confidence interval of the difference			
					Lower	Upper		
5 : 1	4.550 4.506	0.044	0.232	0.017	0.00	0.09	2.569	0.011
9 : 1	4.550 4.261	0.289	0.455	0.034	0.20	0.38	8.528	0.000
14 : 1	4.550 4.189	0.361	0.504	0.038	0.26	0.46	9.607	0.000
28 : 1	4.550 3.261	1.289	0.766	0.057	1.14	1.44	22.580	0.000

급으로 주관적 평가하여 paired sample t-test를 한 결과는 Table 3과 같다. 99% confidence level에서 5 : 1 압축에서만 원본 영상과 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.01$). 9 : 1, 14 : 1, 28 : 1 압축한 영상에서는 원본 영상과 유의한 차이가 있었는데 ($p < 0.01$), 9 : 1 압축의 경우 원본 영상과의 차이의 평균값이 0.327로 아주 근소한 차이를 보였으며 14 : 1 압축의 경우 1.205, 28 : 1 압축의 경우는 3.344로 큰 차이를 보였다.

JPEG 2000 압축의 경우 압축한 영상과 원본 영상 (Fig. 2)의 질을 5등급으로 주관적 평가하여 paired sample t-test를 한 결과는 Table 4와 같다. 역시 99% confidence level에서 5 : 1 압축에서만 원본 영상과 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.01$). 9 : 1, 14 : 1, 28 : 1 압축한 영상에서는 원본 영상과 유의한 차이가 있었는데 ($p < 0.01$), 9 : 1, 14 : 1 압축의 경우 원본 영상과의 차이의 평균값이 각각 0.289, 0.361로 아주 근

소한 차이를 보였고, 28 : 1 압축의 경우는 1.289로 다소 큰 차이를 보였으나 JPEG 압축을 28 : 1로 한 경우 보다는 훨씬 작은 차이를 보였다.

고 찰

JPEG 2000 압축 방법은 이전에 많이 사용되어 오던 대표적인 손실 압축 방법인 JPEG 압축 알고리즘이 discrete cosine transformation을 이용하는 것과 달리 wavelet transformation을 이용하는 것으로, 장점은 JPEG 압축 방법보다 영상의 질이 덜 저하되면서 더욱 효율적인 압축이 가능하다는 점이다.

의료용 영상의 압축에 대한 연구는 영상 종류 별로 상당히 많이 보고되었다. Kotter 등¹⁰은 흉부 디지털 방사선사

진을 대상으로 JPEG, fractal, wavelet 알고리즘으로 각각 32:1 압축하여 ROC분석을 한 결과 fractal 압축 영상은 원본 영상과 비교시 유의하게 낮은 결과를 보인 반면, JPEG, wavelet 압축영상은 원본 영상과 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. Sung 등³은 흉부 Computed Radiography (CR) 영상을 대상으로 JPEG 2000 압축을 5:1에서 200:1까지 시행하여 ROC분석으로 병소의 판독능을 평가하고 5등급의 점수로 주관적 평가를 시행하여, 압축률 20:1까지 병소 판독능에 영향을 주지 않고 이용될 수 있다고 하였다. Kocsis 등⁹은 digitized mammogram을 대상으로 10:1에서 100:1까지 5단계의 압축률로 wavelet 압축하여 분석한 결과 ROC분석은 40:1이 역치였으나 관찰자의 영상 질의 grading 평가 결과는 이 역치를 25:1로 낮추었다고 하였다. Megibow 등¹²은 CT영상을 대상으로 wavelet 압축을 8:1, 16:1, 24:1로 시행하여 분석한 결과 민감도(sensitivity)가 16:1부터 유의하게 감소되었다고 보고하였다. 성 등²은 PET 뇌영상을 대상으로 JPEG, JPEG 2000 압축 방법을 비교한 결과 JPEG의 경우 10:1까지, JPEG 2000의 경우 25:1까지 원본 영상과 차이가 없었다고 하였다. 이와 같이 의료용 영상에서도 영상 종류 별로 임상적으로 적용 가능한 압축률이 다양하게 보고되었다.

치의학 영상에 대한 연구로 Janhom 등¹은 인접면 우식증의 판독에 JPEG과 wavelet 알고리즘을 9:1 압축율에서 비교하여 상아질 병소의 발견에 wavelet 압축이 더 우수하다고 하였다. Pabla 등¹⁹은 인접면 우식증 판독을 위해 storage phosphor DenOptix 디지털영상을 JFIF 압축을 시행하여 ROC분석한 결과 16:1 압축률에서도 심각한 영상의 질 저하 없이 사용 가능하다고 하였다. 본 연구에서는 치아 우식증의 구내디지털방사선영상 파일을 JPEG 압축과 JPEG 2000 압축 방법을 이용하여 각각 5:1, 9:1, 14:1, 28:1로 압축 시행하여 병소 판독능을 위한 ROC분석 결과 JPEG의 경우 14:1까지, JPEG 2000의 경우 28:1까지 원본 영상과 거의 동일한 Az 값을 보였다. 관찰자가 주관적으로 원본 영상과 비교하여 영상 질을 5등급으로 평가한 결과는 JPEG 2000 압축이 JPEG 압축보다 전반적으로 영상의 질이 우수하였는데, JPEG, JPEG 2000 압축 방법 공히 5:1 압축에서만 원본 영상과 유의한 차이가 없었다. 다만 JPEG의 경우 9:1 압축까지, JPEG 2000의 경우 14:1 압축까지 원본 영상과의 차이의 평균값이 근소하여 임상적으로 적용 가능한 압축률로 고려할 수 있었다. ROC분석 결과는 JPEG의 경우 14:1까지, JPEG 2000의 경우 28:1까지 원본 영상과 거의 동일한 병소 판독능을 보였지만 영상의 질이 원본 영상보다 저하되는 상을 보여, 여러 연구에서 압축된 영상의 질을 평가할 때 사용되는 ROC분석은 다소 관용적인 평가 방법으로 생각된다. Sung 등³과 Kocsis 등⁹도 ROC 분석과 주관적 영상 질 평가를 함께 수행하여 ROC 분석 결과보다 낮은 압축률을 임상적으로 적절한 압축률로 보

고하였다.

결론적으로 본 연구 결과 치아 우식증의 구내디지털방사선영상 파일을 압축할 때 wavelet 기반의 JPEG 2000 압축방법이 DCT 기반의 JPEG 압축방법보다 우수하였으며, JPEG 압축의 경우 9:1, JPEG 2000 압축의 경우 14:1까지 임상적으로 적용 가능한 압축률로 고려할 수 있었다. 치과 영역에서도 날로 PACS의 도입이 급증하고 CR, CT나 MRI 영상기기의 발달로 디지털영상 파일의 크기가 기하급수적으로 증가하고 있어, JPEG보다 효율이 좋은 JPEG 2000 압축에 대한 연구가 치과 영역에서 사용되는 영상 종류 별로 시행되어야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. Janhom A, van der Stelt PF, Sanderink GC. A comparison of two compression algorithms and the detection of caries. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 257-63.
2. 성민모, 김희중, 전태주, 유형식. JPEG, JPEG 2000 압축 방법을 이용한 PET Brain 영상에서의 압축 비율 별 임상적 평가 및 비교. 대한 PACS 학회지 2003; 9 : 1-7.
3. Sung MM, Kim HJ, Yoo SK, Choi BW, Nam JE, Kim HS, et al. Clinical evaluation of compression ratios using JPEG 2000 on computed radiography chest images. *J Digit Imaging* 2002; 15 : 78-83.
4. Fidler A, Likar B, Pernus F, Skalaric U. Comparative evaluation of JPEG and JPEG 2000 compression in quantitative digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 379-84.
5. Bruckmann A, Uhl A. Selective medical image compression techniques for telemedical and archiving applications. *Comput Biol Med* 2000; 30 : 153-69.
6. Erickson BJ, Manduca A, Palisson P, Persons KR, Earnest F 4th, Savchenko V, et al. Wavelet compression of medical images. *RadioLOGY* 1998; 206 : 599-607.
7. Goldberg MA, Pivovarov M, Mayo-Smith WW, Bhalla MP, Blickman JG, Bramson RT, et al. Application of wavelet compression to digitized radiographs. *AJR Am J Roentgenol* 1994; 163 : 463-8.
8. Iyriboz TA, Zukoski MJ, Hopper KD, Stagg PL. A comparison of wavelet and Joint Photographic Experts Group lossy compression methods applied to medical images. *J Digit Imaging* 1999; 12 : 14-7.
9. Kocsis O, Costaridou L, Varaki L, Likaki E, Kalogeropoulou C, Skiadopoulou S, et al. Visually lossless threshold determination for microcalcification detection in wavelet compressed mammograms. *Eur Radiol* 2003; 13 : 2390-6.
10. Kotter E, Roesner A, Torsten Winterer J, Ghanem N, Einert A, Jaeger D, et al. Evaluation of lossy data compression of chest X-Rays a receiver operating characteristic study. *Invest Radiol* 2003; 38 : 243-9.
11. Li F, Sone S, Takashima S, Kiyono K, Yang ZG, Hasegawa M, et al. Effects of JPEG and wavelet compression of spiral low-dose CT images on detection of small lung cancers. *Acta Radiol* 2001; 42 : 156-60.
12. Megibow AJ, Rusinek H, Lisi V, Bennett GL, Macari M, Israel GM, et al. Computed tomography diagnosis utilizing compressed image data: an ROC analysis using acute appendicitis as a model. *J Digit Imaging* 2002; 15 : 84-90.
13. Ricke J, Maass P, Lopez Hanninen E, Liebig T, Amthauer H, Stroszczyński C, et al. Wavelet versus JPEG (Joint Photographic Expert

- Group) and fractal compression. Impact on the detection of low-contrast details in computed radiographs. *Invest Radiol* 1998; 33 : 456-63.
14. Schomer DF, Elekes AA, Hazle JD, Huffman JC, Thompson SK, Chui CK, et al. Introduction to wavelet-based compression of medical images. *Radiographics* 1998; 18 : 469-81.
 15. Trapnell CJ, Scarfe WC, Cook JH, Silvejra AM, Regennitter FJ, Haskell BS. Diagnostic accuracy of film-based, TIFF, and wavelet compressed digital temporomandibular joint images. *J Digit Imaging* 2000; 13 : 38-45.
 16. Eraso FE, Analoui M, Watson AB, Rebeschini R, Lauderdale F. Impact of lossy compression on diagnostic accuracy of radiographs for periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 93 : 621-5.
 17. Janhom A, van der Stelt PF, Ginkel FC, Geraets WGM. Effect of noise on the compressibility and diagnostic accuracy for caries detection of digital bitewing radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 6-12.
 18. Janhom A, van der Stelt PF, Ginkel FC. Interaction between noise and file compression and its effect on the recognition of caries in digital imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29 : 20-7.
 19. Pabla T, Ludlow JB, Tyndall DA, Platin E, Abreu M Jr. Effect of data compression on proximal caries detection: observer performance with DenOptix photostimulable phosphor images. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 45-9.
 20. Wenzel A, Gotfredsen E, Borg E, Grondahl HG. Impact of lossy image compression on accuracy of caries detection in digital images taken with a storage phosphor system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 81 : 351-5.