

# 치과병원에서 사용되는 진단영상에 대한 JPEG 2000 압축률에 대한 평가

단국대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, \*단국대학교병원 영상의학과,  
\*\*서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선학교실  
정기훈 · 한원정 · 유동수\* · 최순철\*\* · 김은경

## Evaluation of compression ratios using JPEG 2000 on diagnostic images in dentistry

Gi-Hun Jung, Won-Jeong Han, Dong-Soo Yoo\*, Soon-Chul Choi\*\*, Eun-Kyung Kim

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry,  
\* Department of Diagnostic Radiology, Dankook University Hospital,  
\*\* Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University

### ABSTRACT

**Purpose** : To find out the proper compression ratios without degrading image quality and affecting lesion detectability on diagnostic images used in dentistry compressed with JPEG 2000 algorithm.

**Materials and Methods** : Sixty Digora periapical images, sixty panoramic computed radiographic (CR) images, sixty computed tomographic (CT) images, and sixty magnetic resonance (MR) images were compressed into JPEG 2000 with ratios of 10 levels from 5 : 1 to 50 : 1. To evaluate the lesion detectability, the images were graded with 5 levels (1: definitely absent; 2: probably absent; 3: equivocal; 4: probably present; 5: definitely present), and then receiver operating characteristic analysis was performed using the original image as a gold standard. Also to evaluate subjectively the image quality, the images were graded with 5 levels (1: definitely unacceptable; 2: probably unacceptable; 3: equivocal; 4: probably acceptable; 5: definitely acceptable), and then paired t-test was performed.

**Results** : In Digora, CR panoramic and CT images, compressed images up to ratios of 15 : 1 showed nearly the same lesion detectability as original images, and in MR images, compressed images did up to ratios of 25 : 1. In Digora and CR panoramic images, compressed images up to ratios of 5 : 1 showed little difference between the original and reconstructed images in subjective assessment of image quality. In CT images, compressed images did up to ratios of 10 : 1 and in MR images up to ratios of 15 : 1.

**Conclusion** : We considered compression ratios up to 5 : 1 in Digora and CR panoramic images, up to 10 : 1 in CT images, up to 15 : 1 in MR images as clinically applicable compression ratios. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 157-65)

**KEY WORDS** : Image Compression; Radiography, Dental, Digital; Tomography, X-ray Computed; Magnetic Resonance Imaging

### 서론

지난 20여 년간 디지털 영상 기술의 비약적인 발전으로 필름이 필요 없는 진단방사선 영상의 시대가 열리게 되었다. 의료영상 저장 및 전송 시스템 (Picture Archiving and

Communication System, PACS)은 의료용 진단 영상들을 디지털 상태로 획득하거나 변환하여, 이를 고속의 통신망을 통하여 전송하고 데이터를 저장장치에 저장한 후, 필요한 경우에 고해상도 모니터에서 영상을 보여 주는 포괄적인 디지털 영상관리 및 전송 시스템을 말한다.<sup>1</sup> 1994년 삼성서울병원이 대학병원 급으로는 국내 최초로 PACS를 도입한 이래, 2000년대 이후 국내의 의료원, 치과대학병원들이 full PACS를 속속 도입하기 시작하였다. 그러나 PACS 또는 다양한 디지털의학영상처리시스템으로 영상의 진단

접수일 : 2005년 6월 16일; 심사일 : 2005년 6월 17일; 채택일 : 2005년 7월 10일  
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

과 관리는 편리해졌지만 다중검출기CT, 3D 영상 등과 같은 영상획득 장치의 발달로 검사 당 데이터 양이 3-10배 정도 증가되고 있으며, 영화영상, 내시경이나 병리사진영상 등과 같은 컬러영상도 PACS에 수용하게 되어 PACS의 장기 저장 데이터 양이 기하급수적으로 증가하여 영상 파일들의 저장에 따른 관리비용의 증가 및 긴 영상 전송시간에 따른 문제점들이 제기되고 있다.<sup>2</sup> 실제로 600병상 규모의 종합병원에 설치된 PACS에서 하루 발생하는 영상 데이터는 약 30-50 GB 정도이며, 이를 최소 법정 연한인 5년간 저장하기 위해서는 적어도 45-75 TB (Terabyte) 정도의 엄청난 양의 데이터 저장매체가 필요하다.<sup>2,3</sup> 최근 들어 빠르게 저장장치와 전송기술이 발전되고 있기는 하나, 전송 시간 단축과 저장매체의 공간절약을 위해서 영상압축 기술이 필요하다. 의료 영상의 압축은 압축 복원된 영상과 원본 영상이 질적인 면에서 매우 근접해야 하고, 임상 진단학적 적용에 있어 원본 영상의 모든 정확한 정보를 보존하고 있어야 하며, 동시에 높은 압축 효율을 얻는 것이 이상적인 영상 압축방법이다. 일반적으로 압축률을 높이면 상의 질이 급격히 떨어지며 상의 왜곡이 심해지는 경향이 있는데, 정확한 영상의 복원이 가능한 무손실 압축의 경우 대략 1.5:1에서 3:1 정도의 압축률을 제공한다. 손실 압축의 경우에는 무손실 압축에 비해 훨씬 더 높은 압축률을 제공하지만 더 많은 영상의 질적 저하가 수반된다.<sup>4,6</sup> JPEG 2000 압축은 기존의 JPEG 압축에서 발전된 영상압축 표준으로 1990년 후반에 발전된 wavelet 변환 기술을 채택하여 이를 기반으로 우수한 영상압축 성능을 보여주면서 동시에 다양한 장치에 대한 적용을 지원하고 있다.<sup>1</sup> 흑백 및 컬러 정지영상의 압축 표준으로 널리 이용되고 있는 JPEG 압축은 중간 및 높은 비트 영상에서는 우수한 성능을 보이지만 낮은 비트 영상에서 성능이 저하된다. 이에 비해 JPEG 2000은 낮은 비트 영상에서도 압축성능이 우수하다.<sup>1,2</sup> 또한 JPEG 2000은 하나의 부호화된 비트 스트림에서 무손실 및 손실압축 두 종류의 압축을 동시에 구현할 수 있으며, JPEG 압축과는 달리 대형 영상에 대해서도 압축이 가능하고 컴퓨터를 통해서 합성된 영상 뿐만 아니라 그레이 스케일 영상, 컬러 영상 등 다양한 영상에 대해서도 우수한 압축성능을 보여준다.<sup>1,2,4</sup>

1994년 진단방사선학 영역에서 JPEG 2000 압축알고리즘의 기반이 된 wavelet 압축이 소개된 이래 각종 의료용 영상의 압축에 대한 많은 연구<sup>2,4,5,7-28</sup>가 보고되었으나, 치의학 영상에 대해서는 JPEG 압축을 이용한 연구가 몇 개 있을 뿐,<sup>29-35</sup> JPEG 2000 압축을 이용한 연구 보고<sup>36-38</sup>는 아주 적다.

이에 본 연구에서는 치과병원에서 촬영하는 각종 디지털 영상 즉, 디지털치근단방사선영상(Digora), computed radiography 파노라마영상(CR), 전산화단층촬영영상(CT)과 자기공명영상(MRI)을 대상으로 JPEG 2000 압축 알고리즘

을 이용하여 5:1부터 50:1까지 10단계로 압축하여 각 영상들에서 병소 판독능이 저하되지 않고, 영상의 질적 손실이 적으면서 압축률이 높은 적절한 압축률을 찾아내고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

#### 1) Digora 디지털치근단방사선영상

Digora storage phosphor 영상판 시스템(Soredex Medical Systems, Helsinki, Finland)으로 획득한, 치아우식증 병소가 없는 치근단방사선 영상 30개와 상아질 1/2 이하의 정도까지 이환된 치아우식증 병소가 있는 치근단방사선영상 30개를 대상으로 하였다.

#### 2) CR 파노라마영상

FCR 5000R (Fuji Photo Film Co Ltd., Tokyo, Japan) 시스템으로 획득한 정상 파노라마영상 30개와 골 병소가 있는 파노라마영상 30개를 대상으로 하였다. 이때 치아우식증이 나 치근단 병소, 치주질환은 골 병소에서 제외하였으며, 골수염, 편평세포암, 단순골낭, 개화성골이형성증, 치근단백악질이형성증, 슬루상악낭, 섬유성이형성증, 잔류낭, 이차감염된 치근단낭 등의 병소가 포함되었다.

#### 3) CT 영상

Light Speed QXi CT (GE Medical System, Milwaukee, USA) 시스템으로 획득한, 병소가 없는 악안면영역의 CT영상 30개와 골조직 또는 연조직 병소가 있는 악안면영역의 CT영상 30개 (bone setting 영상 36개, soft tissue setting 영상 24개)를 대상으로 하였다.

#### 4) MR 영상

1.5T MR기기 Signa Twinspeed EXCITE 11.0 (GE medical system, Milwaukee, USA) 으로 획득한 정상 측두하악관절 MR 영상 30개와, 관절원판의 위치이상 또는 골관절염을 보이는 MR 영상 30개를 대상으로 하였다.

### 2. 연구 방법

각 60개씩 준비된 영상 파일 들을 JasPer v1.7 프로그램 (<http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper>)을 이용하여 10단계 즉, 5:1, 10:1, 15:1, 20:1, 25:1, 30:1, 35:1, 40:1, 45:1, 50:1로 JPEG 2000 압축을 시행하여 영상들을 준비하였다.

17인치 LCD 모니터 (FlexScan, EIZO Co., Japan) 상에서 1280×1024 해상도로 구강악안면방사선학을 전공한 4명의 치과 의사가 IrfanView v3.91 프로그램 (Irfan Skiljan, Graduate of Vienna University of Technology, Austria)을 이용하여, 원본 영상과 각 압축 영상을 한 화면에 띄워 다음

과 같은 방법으로 평가하도록 하였다. 이때 각 압축 영상들을 무작위로 모니터 상에서 관찰하게 하여 판독자들은 각 영상의 압축률을 알 수 없게 하였으며, 영상 조작은 허용하지 않았다.

먼저 병소의 판독능을 평가하기 위해 모든 영상을 네명의 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 원본 영상을 gold standard로 하여 ROC (Receiver Operating Characteristic) 분석을 시행하였다.

또한 영상의 질을 주관적으로 평가하기 위하여 네명의 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 원본 영상을 gold standard로 하여 paired sample t-test를 하였다.

ROC분석과 paired sample t-test는 SPSS 통계 프로그램 v. 12.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 분석하였다.

## 결 과

### 1. 병소의 판독능 평가

#### 1) Digora 디지털치근단방사선영상

JPEG 2000으로 압축하기 전의 Digora 원본 영상과 압축 후 영상에서 병소 판독능을 비교하기 위해 원본 영상을 gold standard로 하여 각 압축률에서 ROC 분석을 한 결과, 5:1, 10:1, 15:1 압축률에서의 Az 값(ROC곡선 아래의 면적)은 0.999, 0.998, 0.996이고 20:1에서는 0.987로 값이 다소 떨어져, 5:1, 10:1, 15:1 압축률에서 원본 영상의 병소 판독능과 거의 동일한 것을 알 수 있었다(Table 1).

#### 2) CR 파노라마영상

CR 파노라마영상의 5:1, 10:1, 15:1 압축 영상에서의 Az 값(ROC곡선 아래의 면적)은 1.000, 0.999, 0.997이고 20:1에서는 0.990으로 값이 다소 떨어져, 5:1, 10:1, 15:1 압축률에서 원본 영상의 병소 판독능과 거의 동일한 것을 알 수 있었다(Table 2).

**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 2000 compression ratios tested for Digora images

Compression ratio	Observer 1		Observer 2		Observer 3		Observer 4		Pooled	
	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE
5:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.993	0.007	1.000	0.000	0.999	0.001
10:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.992	0.007	1.000	0.000	0.998	0.002
15:1	1.000	0.000	0.999	0.001	0.992	0.007	1.000	0.000	0.996	0.002
20:1	0.999	0.001	0.982	0.013	0.986	0.010	1.000	0.000	0.987	0.005
25:1	0.984	0.016	0.968	0.020	0.988	0.009	1.000	0.000	0.982	0.007
30:1	0.994	0.006	0.913	0.037	0.983	0.012	0.998	0.003	0.966	0.010
35:1	0.974	0.021	0.891	0.043	0.982	0.013	0.992	0.007	0.957	0.012
40:1	0.989	0.009	0.883	0.044	0.982	0.013	0.997	0.004	0.957	0.012
45:1	0.967	0.019	0.846	0.052	0.973	0.017	0.978	0.015	0.924	0.016
50:1	0.967	0.019	0.869	0.046	0.973	0.016	0.966	0.019	0.925	0.016

**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 JPEG 2000 compression ratios tested for CR images

Compression ratio	Observer 1		Observer 2		Observer 3		Observer 4		Pooled	
	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE
5:1	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
10:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.998	0.003	1.000	0.000	0.999	0.001
15:1	1.000	0.000	0.989	0.010	0.998	0.003	1.000	0.000	0.997	0.002
20:1	0.998	0.003	0.954	0.033	0.998	0.003	0.999	0.001	0.990	0.005
25:1	0.990	0.008	0.929	0.034	0.997	0.004	0.999	0.001	0.982	0.007
30:1	0.978	0.015	0.844	0.051	0.992	0.007	0.997	0.004	0.967	0.010
35:1	0.963	0.020	0.800	0.064	0.991	0.008	0.998	0.003	0.959	0.011
40:1	0.943	0.027	0.748	0.068	0.989	0.009	0.976	0.018	0.936	0.015
45:1	0.903	0.038	0.660	0.073	0.988	0.009	0.930	0.031	0.902	0.019
50:1	0.888	0.041	0.627	0.075	0.990	0.008	0.921	0.034	0.894	0.020

**Table 3.** Area under receiver operating characteristics curves (Az) and its standard error (SE) for each observer and for combined responses (pooled data), for all JPEG 2000 compression ratios tested for CT images

Compression ratio	Observer 1		Observer 2		Observer 3		Observer 4		Pooled	
	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE
5:1	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
10:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.999	0.002	1.000	0.000	1.000	0.000
15:1	1.000	0.000	0.995	0.006	0.994	0.007	1.000	0.000	0.998	0.002
20:1	0.999	0.002	0.921	0.041	0.995	0.009	1.000	0.000	0.988	0.005
25:1	0.976	0.017	0.767	0.069	0.990	0.009	0.997	0.004	0.960	0.011
30:1	0.951	0.027	0.650	0.083	0.990	0.009	0.989	0.009	0.935	0.014
35:1	0.930	0.030	0.540	0.088	0.990	0.009	0.942	0.035	0.893	0.020
40:1	0.885	0.043	0.500	0.083	0.978	0.016	0.901	0.045	0.854	0.023
45:1	0.718	0.066	0.500	0.083	0.961	0.023	0.874	0.047	0.786	0.028
50:1	0.700	0.067	0.500	0.083	0.969	0.021	0.841	0.056	0.767	0.030

**Table 4.** Area under receiver operating characteristics curves (Az) and its standard error (SE) for each observer and for combined responses (pooled data), for all JPEG 2000 compression ratios tested for MR images

Compression ratio	Observer 1		Observer 2		Observer 3		Observer 4		Pooled	
	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE	Az	SE
5:1	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
10:1	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
15:1	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
20:1	1.000	0.000	1.000	0.000	0.997	0.004	1.000	0.000	0.999	0.001
25:1	0.999	0.002	1.000	0.000	0.999	0.001	1.000	0.000	0.999	0.001
30:1	0.981	0.014	1.000	0.000	0.993	0.007	0.994	0.008	0.992	0.004
35:1	0.963	0.020	1.000	0.000	0.992	0.008	0.996	0.006	0.987	0.005
40:1	0.925	0.032	1.000	0.000	0.964	0.026	0.961	0.025	0.966	0.011
45:1	0.897	0.039	1.000	0.000	0.958	0.028	0.932	0.032	0.956	0.012
50:1	0.887	0.042	1.000	0.000	0.962	0.027	0.930	0.031	0.956	0.012

3) CT 영상

CT 영상의 5:1, 10:1, 15:1 압축 영상에서의 Az 값 (ROC곡선 아래의 면적)은 1.000, 1.000, 0.998이고 20:1에서 0.988로 값이 다소 떨어져, 5:1, 10:1, 15:1 압축률에서 원본 영상의 병소 판독능과 거의 동일한 것을 알 수 있었다(Table 3).

4) MR 영상

MR영상의 5:1, 10:1, 15:1, 20:1, 25:1 압축영상에서의 Az 값(ROC곡선 아래의 면적)이 1.000, 1.000, 1.000, 0.999, 0.999이고 30:1에서는 0.992로 값이 다소 떨어져, 5:1, 10:1, 15:1, 20:1, 25:1 압축률에서 원본 영상의 병소 판독능과 거의 동일한 것을 알 수 있었다(Table 4).

2. 영상 질의 주관적 평가

1) Digora 디지털치근단방사선영상

Digora 원본 영상과 JPEG 2000으로 압축한 영상의 질을 5등급으로 주관적 평가하여 paired sample t-test를 한 결과, 95% confidence level에서, 모든 압축 영상과 원본 영상 사

이에 유의한 차이가 있었는데 ( $p < 0.05$ ), 5:1 압축 영상의 경우 원본 영상과의 차이 평균값은 0.633으로 1 미만의 근소한 차이를 보였고, 10:1 압축의 경우 1.287에서 50:1 압축의 경우 3.708까지 점차 큰 차이를 보였다(Table 5).

2) CR 파노라마영상

CR 파노라마 원본 영상과 압축 영상의 질을 평가한 결과, 95% confidence level에서, 모든 압축 영상과 원본 영상 사이에 유의한 차이가 있었는데 ( $p < 0.05$ ), 5:1 압축 영상의 경우 원본 영상과의 차이 평균값이 0.266으로 1 미만의 아주 근소한 차이를 보였고, 10:1 압축의 경우 1.169에서 50:1 압축의 경우 3.819까지 점차 큰 차이를 보였다(Table 6).

3) CT 영상

CT 원본 영상과 압축 영상의 질을 평가한 결과, 95% confidence level에서, 모든 압축 영상과 원본 영상 사이에 유의한 차이가 있었는데 ( $p < 0.05$ ), 5:1 압축의 경우 원본 영상과의 차이 평균값이 0.321, 10:1 압축의 경우 0.487로 1 미만의 근소한 차이를 보였고, 15:1 압축의 경우 1.292에서 50:1 압축의 경우 3.925까지 점차 큰 차이를 보였다

**Table 5.** Results of paired sample t-test by comparing reconstructed images (JPEG 2000) with original images at a confidence level of 95% for Digora images

Compression ratio	Mean	Paired difference					T	P value
		Mean	Standard deviation	Standard error mean	95% confidence interval of the difference			
					Lower	Upper		
5:1	4.87 4.23	0.633	0.684	0.044	0.546	0.720	14.350	*
10:1	4.87 3.58	1.287	1.021	0.066	1.158	1.417	19.535	*
15:1	4.87 3.00	1.862	1.076	0.069	1.726	1.999	26.828	*
20:1	4.87 2.54	2.325	1.024	0.066	2.195	2.455	35.172	*
25:1	4.87 2.05	2.821	1.061	0.069	2.686	2.956	41.169	*
30:1	4.87 1.60	3.262	0.840	0.054	3.156	3.369	60.201	*
35:1	4.87 1.35	3.521	0.714	0.046	3.430	3.612	76.376	*
40:1	4.87 1.21	3.654	0.601	0.039	3.578	3.731	94.210	*
45:1	4.87 1.10	3.767	0.488	0.032	3.705	3.829	119.558	*
50:1	4.87 1.16	3.708	0.605	0.039	3.631	3.785	94.901	*

\* : statistically significant ( $p < 0.05$ )

(Table 7).

## 4) MR 영상

MRI원본 영상과 압축 영상의 질을 평가한 결과, 95% confidence level에서, 모든 압축 영상과 원본 영상 사이에 유의한 차이가 있었는데 ( $p < 0.05$ ), 5:1 압축의 경우 원본 영상과의 차이 평균값이 0.275, 10:1 압축의 경우 0.242, 15:1 압축의 경우 0.638로 1 미만의 근소한 차이를 보였고, 20:1 압축의 경우 1.729에서 50:1 압축의 경우 3.888 까지 점차 큰 차이를 보였다 (Table 8).

## 고 찰

정지영상의 압축에서 가장 많이 사용되고 있는 JPEG 압축은 영상을 주파수의 특성대로 변환하는 이산 코사인 변환 (Discrete Cosine Transform)인 반면 JPEG 2000은 wavelet 변환을 기반으로 하는 압축으로, 영상을 스케일 또는 해상도로 분해하기 때문에 상세한 정보를 가지면서도 낮은 해상도로 분해할 수 있다. JPEG과 JPEG 2000은 압축효율, 복잡성, 비례축소, 보편성 등 많은 면에서 서로 다르다. 가장 중요한 영상의 질적인 부분을 비교해 보면 JPEG 2000 압

축의 경우 낮은 비트 영상으로 갈수록 JPEG 압축에 비해 우수한 영상의 질을 유지하게 된다.<sup>1,2</sup> JPEG 압축방식은 의료영상에 적용하기에 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 의료영상은 최대 16 bit-depth의 영상까지 가지고 있지만, JPEG 압축방식은 12 bit-depth의 영상까지만 압축이 가능하다. 또한 일정비율 이상으로 압축을 실행하면 압축 영상에 block 모양의 artifact가 발생하고 심한 영상의 질 저하가 일어난다.<sup>4</sup> DICOM 표준위원회는 이러한 JPEG 손실 압축 방법의 한계를 인식하고 ISO/IEC JTC1/sc29/WG1와 공동으로 DICOM supplement 61 : JPEG 2000 Transfer Syntaxes를 발표하였으며, 의료영상의 표준 압축방법으로 JPEG, RLE, JPEG-Lossless 압축방식 외에 추가로 JPEG 2000을 채택하게 되었다.<sup>4,6</sup>

의료용 영상의 압축에 대한 연구는 영상의 종류 별로 상당히 많이 보고 되었다. Sung 등<sup>5</sup>은 흉부 CR 영상을 대상으로 JPEG 2000 압축을 5:1에서 200:1까지 시행하여 ROC분석으로 병소의 판독능을 평가하고 5등급의 점수로 주관적 평가를 시행하여, 20:1의 압축률까지 병소 판독능에 영향을 주지 않고 이용될 수 있다고 보고하였다. Kocsis 등<sup>9</sup>은 digitized mammogram을 대상으로 10:1에서 100:1까지 5단계의 압축률로 wavelet 알고리즘으로 압축하여 분

**Table 6.** Results of paired sample t-test by comparing reconstructed images (JPEG 2000) with original images at a confidence level of 95% for CR images

Compression ratio	Mean	Paired difference					T	P value
		Mean	Standard deviation	Standard error mean	95% confidence interval of the difference			
					Lower	Upper		
5:1	4.89 4.62	0.266	0.546	0.035	0.196	0.336	7.500	*
10:1	4.89 3.72	1.169	0.886	0.058	1.055	1.282	20.309	*
15:1	4.89 3.29	1.599	1.079	0.070	1.461	1.737	22.810	*
20:1	4.89 2.52	2.363	1.067	0.069	2.226	2.499	34.085	*
25:1	4.89 2.03	2.857	0.905	0.059	2.741	2.972	48.613	*
30:1	4.89 1.70	3.186	0.747	0.049	3.090	3.281	65.617	*
35:1	4.89 1.43	3.451	0.660	0.043	3.367	3.536	80.550	*
40:1	4.89 1.23	3.658	0.510	0.033	3.593	3.723	110.487	*
45:1	4.89 1.10	3.789	0.458	0.030	3.730	3.848	127.429	*
50:1	4.89 1.07	3.819	0.418	0.027	3.765	3.872	140.699	*

\* : statistically significant (p < 0.05)

석한 결과, 병소 판독능의 분석은 40:1이 역치였으나 영상 질의 평가 결과는 이 역치를 25:1로 낮추었다고 하였다. Megibow 등<sup>10</sup>은 급성중수염의 CT영상을 대상으로 wavelet 압축을 8:1, 16:1, 24:1로 시행하여 분석한 결과 민감도 (sensitivity)가 16:1부터 유의하게 감소되어 10:1 정도의 압축률이 적절하다고 보고하였다. 최 등<sup>2</sup>은 복부 CT 영상과 뇌의 MR 영상을, JPEG 2000 압축을 시행하여 임상적으로 정보의 손실이 없는 압축비율을 찾으려 하였는데, CT에서는 10:1, MR에서는 5:1이 적절하다고 판단하였다. Li 등<sup>11</sup>은 Low-dose CT 영상을 JPEG과 wavelet 알고리즘으로 압축하고, 작은 폐암부위의 판독능을 평가하여 ROC 분석을 한 결과, JPEG과 wavelet 알고리즘 압축 10:1까지는 판독의 저하가 없었다고 하였다. Fidler 등<sup>38</sup>은 성인의 건조 하악골편을 대상으로 연구한 Digital Substraction Radiography (DSR)에 대한 JPEG과 JPEG 2000 압축의 비교에서, 7:1 압축률에서 원본과 유의한 차이점은 없었고, 더 높은 압축률에서는 JPEG 2000이 더 우수하기는 하나 상의 왜곡이 있었다고 하였다. 성 등<sup>4</sup>은 PET 뇌영상을 대상으로 JPEG, JPEG 2000 압축방법을 비교한 결과 JPEG의 경우 10:1까지, JPEG 2000의 경우 25:1까지 원본 영상과 차이가 없었다고 하였다. 이와 같이 의료용 영상에서는 영상 종류 별로 임상적으로 적용 가능한 압축률이 다양하게 보

고되었다.

치의학 영상에 대한 연구로, Janhom 등<sup>37</sup>은 인접면 우식증의 판독에 JPEG과 wavelet 알고리즘을 9:1 압축률에서 비교하여 상아질 병소의 발견에 wavelet 압축이 더 우수하다고 보고하였고, Pabla 등<sup>33</sup>은 인접면 우식증 판독을 위해 storage phosphor DenOptix 디지털영상을 JFIF 압축을 시행하여 ROC분석한 결과 16:1 압축률에서도 심각한 영상의 질 저하 없이 사용 가능하다고 했다. 그 외 JPEG 2000 압축에 관한 연구로 김<sup>36</sup>은 발치한 치아를 대상으로 CDR 센서로 영상을 획득하여 분석한 결과 JPEG 2000의 경우 14:1까지 임상적으로 수용 가능한 압축률로 보고한 바 있으나 치과병원에서 사용하는 여러 가지 영상에 대한 JPEG 2000 압축에 대한 연구는 별로 보고된 바 없다.

이에 본 연구에서는 치과병원에서 촬영하는 각종 영상들을 대상으로 병소 판독능이 저하되지 않고 영상의 질적 손실이 적은, 적절한 압축비율을 찾고자 하였다. 병소 판독능은 ROC분석을 하였는데, 영상질의 주관적 평가에 비해 상당히 높은 압축에서도 원본과의 거의 동일한 병소 판독능을 보여 주었다. 이는 압축된 영상에서 영상이 많이 손상되어도 병소의 유무를 판독하는 게 가능했기 때문으로 생각된다. 영상의 압축률에 대한 여러 연구에서 사용되는 ROC분석은 주관적인 영상의 질을 평가하는 방법보다 다

**Table 7.** Results of paired sample t-test by comparing reconstructed images (JPEG 2000) with original images at a confidence level of 95% for CT images

Compression ratio	Mean	Paired difference					T	P value
		Mean	Standard deviation	Standard error mean	95% confidence interval of the difference			
					Lower	Upper		
5:1	4.97 4.65	0.321	0.587	0.038	0.246	0.395	8.470	*
10:1	4.97 4.49	0.487	0.647	0.042	0.405	0.570	11.678	*
15:1	4.97 3.68	1.292	1.178	0.076	1.142	1.441	16.989	*
20:1	4.97 2.54	2.433	1.246	0.080	2.275	2.592	30.259	*
25:1	4.97 1.95	3.021	1.072	0.069	2.884	3.157	43.636	*
30:1	4.97 1.60	3.371	0.924	0.060	3.253	3.488	56.524	*
35:1	4.97 1.32	3.658	0.697	0.045	3.570	3.747	81.356	*
40:1	4.97 1.20	3.771	0.635	0.041	3.690	3.852	91.984	*
45:1	4.97 1.10	3.875	0.518	0.033	3.809	3.941	115.782	*
50:1	4.97 1.05	3.925	0.392	0.025	3.875	3.975	155.277	*

\* : statistically significant ( $p < 0.05$ )

소 관용적인 평가 방법으로, 이 분석으로 유추된 임상적으로 허용 가능한 압축률에 대한 결과는 그의 적용에 주의가 요망된다. 본 연구에서는 병소 판독능만을 기준으로 하여 압축률을 결정하는 것은 원본 영상에서의 정보를 잃을 가능성이 있기 때문에, 영상 질의 주관적 평가에서 원본 영상과 등급 1 미만의 차이를 보이는 수준을 각 디지털 영상의 적절한 압축비율로 결정하였다. 이는 판독자들이 5 등급으로 주관적으로 평가시 원본 영상과 압축된 영상을 나란히 놓고 비교하면서 원본 영상과 근소한 차이를 보이면서 진단에 별 무리가 없는 것으로 판단되는 영상을 등급 4로 평가했기 때문에 원본 영상과 등급 1 미만의 차이는 임상적으로 수용가능한 것으로 여겨졌기 때문이다. Digora 디지털치근단방사선영상과 CR 파노라마영상에서는 5:1, CT 영상에서는 10:1, MR 영상에서는 15:1 압축률을 병소 판독능이 저하되지 않고, 영상의 질 손실이 거의 없는 임상적으로 적용가능한 가장 적절한 압축률로 보았다. 디지털치근단방사선영상의 경우 JPEG 2000 압축으로 14:1 까지 임상적으로 수용가능하다고 보고<sup>36</sup>된 바 있으나, 본 연구에서는 Digora 영상판으로 획득한 영상을 대상으로 한 데 반해, 김<sup>36</sup>은 CCD 센서인 CDR 시스템으로 획득한 영상을 대상으로 하였다. 또한 압축 영상에서의 주관적으로 평가된 영상의 질은 원본 영상의 질에 따라 많이 좌우되었

는데, 본 연구에서 사용된 Digora 영상들은 실제 치과대학 병원 방사선과에서 환자들을 촬영했던 영상들로, 원본 영상 자체가 질이 저하된 상이 많이 포함되었다. 따라서 발치한 치아를 대상으로 최상의 상태로 얻어진 영상을 대상으로 했던 연구 결과보다 낮은 압축률이 나온 것으로 사료되며, 실제 임상에서 환자를 촬영할 경우 최상의 영상이 얻어지는 경우는 많지 않을 것으로 생각된다. CR 파노라마 영상에서 5:1 압축률이 적절한 것으로 나온 본 연구 결과는 과거의 흉부 CR 영상에 관한 연구에서 20:1 까지 병소 판독능에 영향을 주지 않고 이용될 수 있다고 한 연구<sup>5</sup> 결과와 대조되는데, 이는 디지털화한 골격 사진이 흉부나 복부 사진보다 압축에 더 민감하다고 보고<sup>7</sup>된 대로 동일한 종류의 영상이라 할지라도 연조직을 보는 흉부 CR과 주로 경조직의 변화를 보는 파노라마 CR의 차이가 아닌가 생각된다. 또한 본 연구에서 CT 영상에서는 10:1, MR 영상에서는 15:1이 적절한 압축률로 나왔는데, CT 영상의 경우 여러 연구<sup>2,10,11</sup>에서 10:1이 적절한 압축률로 보고되어 본 연구와 유사한 결과를 보였다. MR 영상은 다소 다른 결과가 보고되었는데, 최 등<sup>2</sup>은 뇌 MR 영상의 경우 5:1이 적합하다고 하였다. 이는 동일한 MR 영상일지라도 본 연구에서는 측두하악관절의 MR 영상을 대상으로 하였는데, 실제 평가시 측두하악관절 부위의 구조물들이 압축에 영향을

**Table 8.** Results of paired sample t-test by comparing reconstructed images (JPEG 2000) with original images at a confidence level of 95% for MR images

Compression ratio	Mean	Paired difference					T	P value
		Mean	Standard deviation	Standard error mean	95% confidence interval of the difference			
					Lower	Upper		
5:1	4.98 4.70	0.275	0.690	0.045	0.187	0.363	6.173	*
10:1	4.98 4.74	0.242	0.429	0.028	0.187	0.296	8.727	*
15:1	4.98 4.34	0.638	0.801	0.052	0.536	0.739	12.325	*
20:1	4.98 3.25	1.729	1.240	0.080	1.572	1.887	21.606	*
25:1	4.98 2.40	2.575	1.176	0.076	2.425	2.725	33.915	*
30:1	4.98 1.87	3.108	1.100	0.071	2.968	3.248	43.777	*
35:1	4.98 1.60	3.383	0.978	0.063	3.259	3.508	53.578	*
40:1	4.98 1.34	3.642	0.758	0.049	3.545	3.738	74.465	*
45:1	4.98 1.16	3.821	0.561	0.036	3.749	3.892	105.457	*
50:1	4.98 1.09	3.888	0.556	0.036	3.817	3.958	108.260	*

\* : statistically significant (p < 0.05)

덜 받는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 결과를 종합해 보면 주관적인 평가에 의해 영상의 질 저하가 감지되지 않는 압축률은 Digora 디지털 치근단방사선영상과 CR파노라마 영상에서 5 : 1, CT영상에서 10 : 1, MR영상에서 15 : 1이었고, 병소의 판독가능 압축률은 이보다 다소 높았다. 이와 같이 영상 종류 별로 다양한 결과가 나와 실제 임상에 적용하기 위해서는 본 연구에서 다루어 지지 않은 치과 영역에서 사용되는 여러 종류의 영상에 대한 압축 연구가 더 많이 이루어져야 할 것으로 생각 된다.

### 참 고 문 헌

- 정 환, 이 완, 김문찬. 디지털 의료 영상학. 제2판. 서울: 정문자; 2003. p.173-210.
- 최성우, 차순주, 김용훈, 서정욱, 허 감. CT와 MRI 영상에서 JPEG2000의 실용성과 압축률 산정에 관한 연구. 대한PACS학회지 2004; 10 : 25-30.
- 차순주, 김용훈, 허감. PACS 설치시 영상 데이터 용량 산정에 관한 연구. 대한방사선의학회지 2000; 42 : 705-8.
- 성민모, 김희중, 전태주, 유형식. JPEG, JPEG2000 압축 방법을 이용한 PET Brain 영상에서의 압축 비율 별 임상적 평가 및 비교. 대한PACS학회지 2003; 9 : 1-7.
- 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.
- DICOM Standards Committee Working Group 4: Compression. Supplement 61: JPEG 2000 Transfer Syntaxes, NEMA, Virginia, 2000.
- 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.
- 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 : 43-9.
- Kocsis O, Costaridou L, Varaki L, Likaki E, Kalogeropoulou C, Skiadopoulos S, et al. Visually lossless threshold determination for microcalcification detection in wavelet compressed mammograms. Eur Radiol 2003; 13 : 2390-6.
- 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.
- 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.
- Bruckmann A, Uhl A. Selective medical image compression techniques for telemedical and archiving applications. Comput Biol Med 2000; 30 : 153-69.
- Erickson BJ, Manduca A, Palisson P, Persons KR, Earnest F,



- Savcenko V, et al. Wavelet compression of medical images. *Radiology* 1998; 206 : 599-607.
14. 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.
  15. 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.
  16. 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.
  17. Slone RM, Foos DH, Whiting BR, Muka E, Rubin DA, Pilgram TK. Assessment of visually lossless irreversible image compression: comparison of three methods by using an image-comparison workstation. *Radiology* 2000; 215 : 543-53.
  18. Erickson BJ, Manduca A, Persons KR, Earnest F, Hartman TE, Harms GF, et al. Evaluation of irreversible compression of digitized posterior-anterior chest radiographs. *J Digit Imaging* 1997; 10 : 97- 102.
  19. Puniene J, Punys V, Punys J. Ultrasound and angio image compression by cosine and wavelet transforms. *Int J Med Inf* 2001; 64 : 473-81.
  20. Ko JP, Rusinen H, Naidich DP, McGuinness G, Rubinowitz AN, Leitman BS, et al. Wavelet compression of low-dose chest CT data: effect on lung nodule detection. *Radiology* 2003; 228 : 70-5.
  21. Oczeretko E, Rakowski W, Jurilewicz D. Wavelet compression of nuclear medicine images. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2000; 3 : 153-6.
  22. Kalyanpur A, Neklesa VP, Taylor CR, Daftary AR, Brink JA. Evaluation of JPEG and wavelet compression of body CT images for direct digital teleradiologic transmission. *Radiology* 2000; 217 : 772-9.
  23. Kerensky RA, Cusma JT, Kubilis P, Simon R, Bashore TM, Hirshfeld JW, et al. American college of cardiology/ European society of cardiology international study of angiographic data compression phase I. The effects of lossy data compression on recognition of diagnostic features in digital coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35 : 1370-9.
  24. Brennecke R, Burgel U, Simon R, Ripplin G, Fritsch HP, Becker T, et al. American college of cardiology/European society of cardiology international study of angiographic data compression. Phase III: measurement of image quality differences at varying levels of data compression. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35 : 1388-97.
  25. Suryanarayanan S, Karellas A, Vedantham S, Waldrop SM, D'Orsi CJ. A perceptual evaluation of JPEG 2000 image compression for digital mammography: contrast-detail characteristics. *J Digit Imaging* 2004; 17 : 64-70.
  26. Kratochwil A, Lee A, Schoisswohl A. Networking of three dimensional sonography volume data. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16 : 335-40.
  27. Savcenko V, Erickson BJ, Persons KR, Campeau NG, Huston J, Wood CP, et al. An evaluation of JPEG and JPEG 2000 irreversible compression algorithms applied to neurologic computed tomography and magnetic resonance images. *Joint Photographic Experts Group. J Digit Imaging* 2000 May; 13(2 Suppl 1) : 183-5.
  28. Zheng LM, Sone S, Itani Y, Wang Q, Hanamura K, Asakura K, et al. Effect of CT digital image compression on detection of coronary artery calcification. *Acta Radiol* 2000 Mar; 41 : 116-21.
  29. 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.
  30. 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.
  31. 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.
  32. 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.
  33. 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.
  34. Wenzel A, Gotfredsen E, Borg E, Gröndahl 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.
  35. Koenig L, Parks E, Analoui M, Eckert G. The impact of image compression on diagnostic quality of digital images for detection of chemically induced periapical lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 2004; 33 : 37-43.
  36. 김은경. 구내디지털방사선영상의 JPEG과 wavelet 압축방법 비교. *대한구강악안면방사선학회지* 2004; 34 : 117-22.
  37. 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.
  38. Fidler A, Likar B, Pernus F, Skaleric U. Comparative evaluation of JPEG and JPEG 2000 compression in quantitative digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 379-84.