대한영상의학회지 2007;56:603 - 608

JPEG2000을 이용한 유방촬영술 팬텀 영상의 압축 비율별 평가[1]

정영주 · 양상규 · 김수완 · 류채연 · 이병희 · 김기환

목적: 유방촬영술 영상의 압축에서 JPEG2000의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: JPEG2000압축 기법을 사용하여 유방촬영술 팬텀 영상을 10:1, 20:1, 30:1, 40:1, 50:1, 60:1까지 압축하였다. 유방촬영술 팬텀의 DICOM, TIFF, JPEG 원본 영상과 압축 영상을 포함한 총 9개의 영상을 4명의 판독의가 합의로 평가하였다. 영상의 용량을 비교하였고 팬텀영상에서 보이는 섬유, 작은 알갱이 집단들, 종괴의 개수를 세어 점수를 기록하였다. 섬유 4개 이상, 작은 알갱이 집단들 3개 이상, 종괴 3개 이상(총점 10점 이상)을 합격으로 간주하였다.

결과: DICOM 영상의 용량은 17,042KB, TIFF 영상은 8,324KB, JPEG 원본 영상은 1,506KB이었고 합격점 이상에서 가장 높은 압축비인 50:1에서의 영상의 용량은 43KB이었다. 분야별 점수에서 섬유는 50:1의 압축비까지 5점으로 합격이었고, 작은 알갱이 집단들은 60:1의 압축비까지 3점으로 합격이었으며, 종괴는 50:1의 압축비까지 3.5점으로 합격이었다. 총점에서는 섬유, 작은 알갱이 집단들, 종괴 각각의 점수를 합치면 50:1의 압축비까지 12점으로 합격이었고 60:1의 압축비는 8점으로 불합격이었다.

결론: JPEG2000은 유방촬영술에서 비교적 영상의 손실 없이 높은 압축이 가능한 효율적인 압축 기법이다.

유방촬영술은 유방암 선별 검사에 있어서 없어서는 안 될 검사 방법으로 발전했다. 최근에는 필름을 이용한 유방촬영술을 대신하여 판독, 저장의 편리성, 컴퓨터를 이용한 보조발견 시스템의 적용 등 많은 장점으로 말미암아 디지털 유방촬영술의 사용이 점차 증가하고 있다. 보통 한 여성이 디지털 유방촬영술로 양쪽 유방의 상하위 및 내외사위를 촬영할 경우 총 영상의 크기가 약 110 메가바이트(Megabyte 이하 MB)에 달하는데, 영상 저장 및 전송 체계(Picture Archiving and Communi - cation Systems 이하 PACS)에서 이처럼 용량이 큰 의료영상은 대용량 저장장치가 필요하고, 느린 전송으로 인하여 PACS의 성능을 저하하게 된다. 따라서 판독의에 의해 판독된 영상이나 장기 저장되는 영상은 영상의 질을 떨어뜨리지 않고, 다음 판독에 영향을 주지 않는 범위에서 압축을 실행하여 보관하게 된다(1, 2).

최근 몇 년 동안, 의학 영상의 진단적 정확도를 저해하지 않는 범위에서 데이터의 저장과 전송을 가능하게 하는 여러 가지 압축 기술들이 연구되어 왔다(3 - 6). 근래에는 Joint Photographic Coding Experts Group(JPEG) 2000압축 기법이 소개되어 의학 영상의 압축에서 실용적인 방법으로 주목받고 있다(7 - 9). JPEG2000의 특징은 하나의 부호화된 비트 스트림에서 무손실 및 손실압축을 동시에 구현할 수 있고, 높은 압축률에서도 뛰어난 영상의 질을 보이고 Region of Interest Coding(ROI)이 가능하며, 영상의 보안을 위하여 워터마킹(watermarking), 라벨링(labeling) 등의 기법을 적용하였다는 것이다. 또한, 1bit - depth에서 16bit - depth 까지 다양한 bit - depth를 가진 영상들의 압축이 가능하며 동영상의 압축도 지원한다(10).

유방촬영술 영상은 매우 작은 미세석회화 또는 암을 구별해야 하기 때문에 그 영상의 질과 병변의 검출감도가 매우 중요하다. 그러므로 압축을 실행할 때 영상의 질을 최대로 유지하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 디지털 유방촬영술로 유방팬텀 영상을 촬영한 후 JPEG2000을 사용하여 다양한 비율로 압축하고 각 압축률에 따른 영상의 평가를 통하여 JPEG2000의 유용성을 알아보고자 하였다.

[1]원자력병원 영상의학과
이 논문은 2006년 12월 20일 접수하여 2007년 4월 18일에 채택되었음.

대상과 방법

유방팬텀의 촬영

디지털 유방촬영기를 사용하여 유방팬텀의 영상을 얻었고 사용된 유방팬텀은 Nuclear Associates (18 - 220)로 미국방사선의학회 (American College of Radiology, ACR) 유방촬영술 인증체계에서 인정된 표준 모델이다. 이 팬텀은 6개의 섬유 (fiber), 5개의 작은 알갱이 집단들 (groups of specks), 5개의 종괴 (mass)를 가지고 있고, 1개의 작은 알갱이 집단에는 6개의 작은 알갱이가 있다. 촬영에 사용된 유방촬영기는 Lorad사의 Selenia Digital Mammography System (Lorad/ Hologic; Bedford, MA, U.S.A.)이었다. 촬영 시 노출은 장비의 자동 노출장치를 이용하였다.

영상의 압축

촬영된 팬텀영상을 Infinitt사의 PACS 상에서 가장 잘 보이도록 창높이 (window level)와 창폭 (window width)을 조절한 후 프로그램에서 제공하는 가장 고화질의 TIFF, JPEG 영상으로 변환 저장하였다. 이때 저장된 JPEG 영상을 해상도 (2560 ×3328 픽셀)의 변화 없이 JPEG2000을 이용하여 원본 용량의 10:1, 20:1, 30:1, 40:1, 50:1, 60:1로 압축하였다.

영상의 평가

팬텀의 DICOM 영상, TIFF 영상, JPEG 원본 영상 및 압축 영상 6개를 포함한 총 9개의 영상을 4명의 영상의학과 의사가 합의로 분석 및 평가하였다. 우선 DICOM, TIFF, JPEG 원본 영상과 압축 영상의 용량을 비교하였고, 압축 영상의 평가 방법은 특수의료장비의 품질관리 중 유방 팬텀을 평가할 때 사용되는 기준을 토대로 하여 팬텀영상에서 보이는 섬유, 작은 알갱이 집단들, 종괴의 개수를 세어 점수를 기록하였다. 섬유 4개 이상, 작은 알갱이 집단들 3개 이상, 종괴 3개 이상 (총점 10점 이상)을 합격으로 간주하였다. 총점이 10점이 되더라도 이 중 각각의 요소가 하나라도 미달이면 불합격이었다. 평가 시 Barco사의 5 메가 (Mega 이하 M) 판독용 모니터를 이용하였고 영상의 크기는 원본 픽셀과 1:1로 보일 수 있도록 고정하였으며 영상의 명암과 대조도는 변화시키지 않았다.

결 과

DICOM 영상의 용량은 17,042 킬로바이트 (Kilobyte 이하 KB), TIFF 영상은 8,324 KB, JPEG 원본 영상은 1,506 KB 이었고, 합격점 이상에서 가장 높은 압축비인 50:1 압축 영상의 용량은 43 KB이었다 (Table 1).

유방촬영술 팬텀 영상에서 보이는 섬유는, 50:1의 압축비까지 섬유 5개가 보여 5점으로 DICOM, TIFF, JPEG 원본 영상과 차이가 없었으나 60:1의 압축비에서 세 번째 섬유의 길이가 3/4이상이 보이지 않아 2.5점으로 차이를 보였다 (Fig. 1).

작은 알갱이 집단은, 30:1의 압축비까지 점수는 4점으로 DICOM, TIFF, JPEG 원본과 차이가 없었다. 그러나 10:1 압

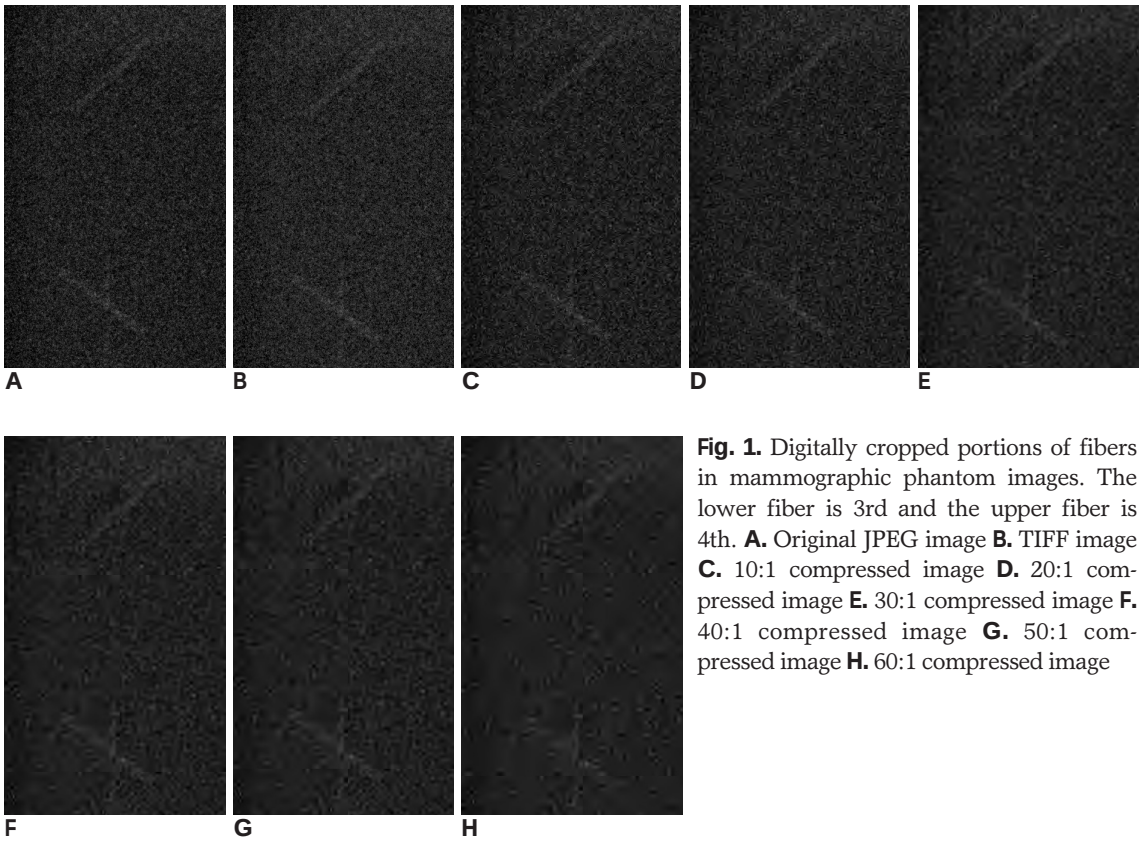

Fig. 1. Digitally cropped portions of fibers in mammographic phantom images. The lower fiber is 3rd and the upper fiber is 4th. **A.** Original JPEG image **B.** TIFF image **C.** 10:1 compressed image **D.** 20:1 compressed image **E.** 30:1 compressed image **F.** 40:1 compressed image **G.** 50:1 compressed image **H.** 60:1 compressed image

축 영상에서는 네 번째 집단에서 6개의 알갱이가 모두 보였지만, 20:1의 압축비에서부터 4개의 알갱이만 보이기 시작했다. 40:1의 압축비에서는 네 번째 집단에서 알갱이 3개, 50:1의 압축비에서는 알갱이 2개가 보여 3.5점이었으며 60:1의 압축비에서는 세 번째 집단까지만 보여 3점이었다(Fig. 2).

종괴의 경우, DICOM, TIFF, JPEG 원본과 30:1까지의 압축 영상 모두에서 종괴 5개가 보여 5점으로 점수의 차이가 없었으나 40:1과 50:1의 압축비에서는 4번째 종괴가 제 위치에 있었으나 둥글게 보이지 않아 3.5점으로 차이를 보였다. 60:1의 압축비에서는 3번째 종괴가 제 위치에 있었으나 둥글게 보이지 않아 2.5점이었다(Fig. 3).

섬유, 작은 알갱이 집단들과 종괴 각각의 점수를 합친 총점에서는 50:1의 압축비까지는 12점으로 합격이었고 60:1의 압축비는 8점으로 불합격이었다(Table 1).

고 찰

PACS의 각종 의료 영상 장비에서 발생하는 디지털 의료 영상은 해상도가 높고 각 검사 당 많은 영상 수가 요구되기 때문에 적게는 수십에서 많게는 수백 MB까지의 용량을 차지한다. 이러한 방대한 영상을 저장하려면 대용량의 저장 장치와 신속한 네트워크 시스템이 필요하기 때문에 영상의 압축 저장과 전송은 사용자의 편의성과 PACS의 경제적인 운용을 위해서 매우 중요한 부분이다(11). 이러한 영상의 압축에는 영상 파일이 가진 모든 영상에 관한 정보 값은 그대로 유지하는 무손실 압축과 일부 불필요하다고 인정되는 부분을 없애서 정보

Table 1. The Results of Sizes and Scores for Various Compression Ratios

	DICOM (17,042)*	TIFF (8,324)*	JPEG 1:1 (1,506)*	JPEG 10:1 (154)*	JPEG 20:1 (81)*	JPEG 30:1 (56)*	JPEG 40:1 (49)*	JPEG 50:1 (43)*	JPEG 60:1 (31)*
Fiber Score	5	5	5	5	5	5	5	5	2.5
Speck Score	4	4	4	4	4 (4)†	4 (4)†	3.5 (3)†	3.5 (2)†	3 (0)†
Mass Score	5	5	5	5	5	5	3.5	3.5	2.5
Total score	14	14	14	14	14	14	12	12	8

*Number in parentheses is size of image in Kilobyte.
†Number in parentheses is number of specks observed in 4th group of specks.

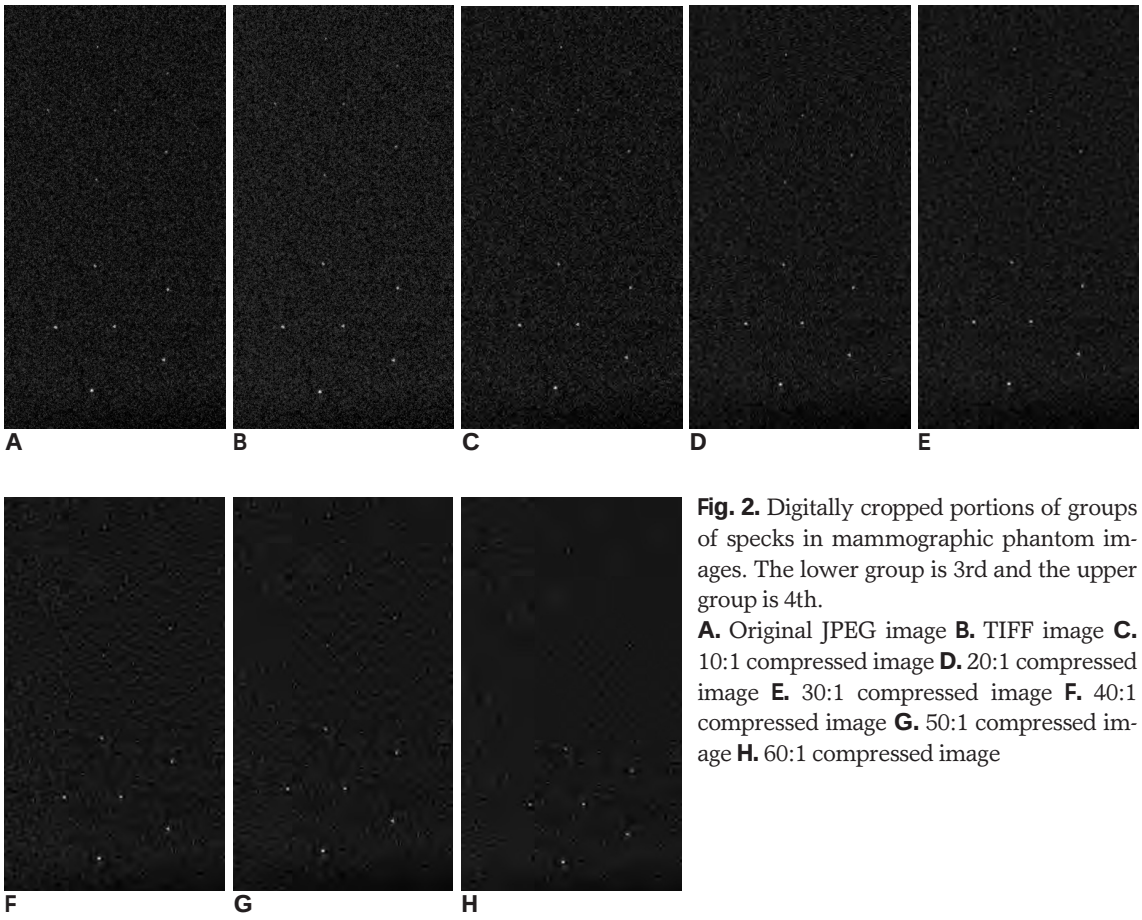

Fig. 2. Digitally cropped portions of groups of specks in mammographic phantom images. The lower group is 3rd and the upper group is 4th.
A. Original JPEG image **B.** TIFF image **C.** 10:1 compressed image **D.** 20:1 compressed image **E.** 30:1 compressed image **F.** 40:1 compressed image **G.** 50:1 compressed image **H.** 60:1 compressed image

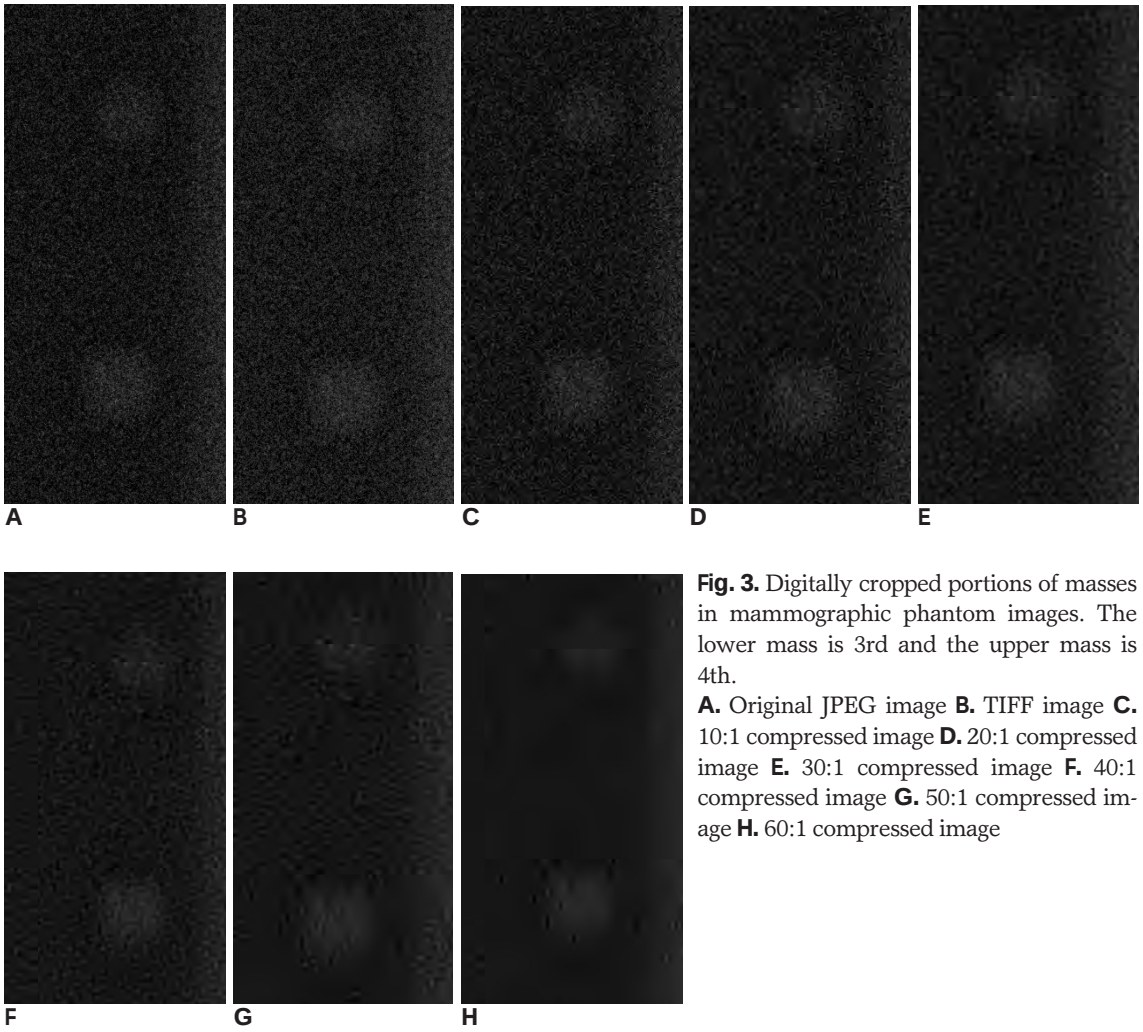

Fig. 3. Digitally cropped portions of masses in mammographic phantom images. The lower mass is 3rd and the upper mass is 4th.
A. Original JPEG image **B.** TIFF image **C.** 10:1 compressed image **D.** 20:1 compressed image **E.** 30:1 compressed image **F.** 40:1 compressed image **G.** 50:1 compressed image **H.** 60:1 compressed image

량을 줄인 손실압축이 있다(12). 무손실 압축의 방법은 영상 정보를 보다 효과적으로 전송하고 완벽하게 재구성하는 범위 내에서 사용되고 있지만 그 압축 비율은 2:1 - 4:1 정도로 매우 작다(13). 또한, 비가역적인 손실 압축 방법은 임의로 높은 비율의 압축을 실행할 수 있지만, 원래의 영상으로 완벽히 재구성할 수 없다는 단점이 있다(13). 그러므로 기존 사용되었던 압축 방식보다 더 효율적인 영상 압축의 필요성이 생겨서 새로운 형식의 높은 압축 비율에서도 뛰어난 영상의 질을 유지하는 웨이블렛(wavelet) 변환을 이용한 JPEG2000이 새로운 표준으로 제시되어 일부 의료 기관에서 이를 적용하고 있다(14, 15). 이에 저자들은 디지털 유방촬영술로 유방팬텀 영상을 촬영한 후 JPEG2000을 사용하여 다양한 비율로 압축하고 각 압축률에 따른 영상의 평가를 통하여 JPEG2000의 유용성을 알아보았다.

JPEG2000 압축 기법을 이용한 PACS 영상의 압축 비율별 평가는 성 등(13)과 차 등(16)에 의하여 연구된 바 있다. 성 등은 필름 유방촬영술을 디지털화시키고 이를 JPEG2000을 이용하여 압축한 후 원본 영상과의 화질 비교를 위해 Peak signal to noise ratio(PSNR) 값을 이용하였다. 차 등은 MR과 CT를 대상으로 하여 PSNR 값을 비교하였다. 본 연구에서는 실제 유방촬영술 품질관리에 사용되는 유방팬텀과 점수체계를 사용하였고 이는 앞선 두 연구와는 달리 유방촬영술의 실제 임상적 용에 더 가까운 연구라 할 수 있다.

총점 10점 이상의 합격점을 받은 압축 영상 중 가장 높은 압축 비율인 50:1 영상의 용량은 원본 JPEG 영상에 비하면 35배, TIFF 영상에 비하면 193배, DICOM 영상에 비교하면 396배에 해당하는 높은 압축률이었다.

유방촬영술 영상은 매우 작은 미세석회화 또는 암을 구별해야 하기 때문에 그 영상의 질과 병변의 검출감도가 매우 중요하다. 유방 초음파 및 자기공명영상의 발전에도 불구하고 X선을 이용한 유방촬영술이 무증상 여성에서 조기 유방암을 발견하는데 선별 검사로 사용되는 이유는 고해상 영상으로 유방암의 주요 소견인 미세석회화를 발견하는데 가장 우수하기 때문이다(17). 그러므로 팬텀영상에서 미세석회화를 대표하는 작은 알갱이들의 해상도가 중요하다. JPEG2000압축 기법을 사용하여 압축한 팬텀영상의 평가에서 50:1까지의 압축비에서 작은 알갱이 집단들은 합격점을 얻었다. 10:1 압축비까지는 4번째 집단에서 6개의 작은 알갱이가 다 관찰되었지만 20:1 압축비에서부터는 작은 알갱이가 4개만 보이기 시작했다는 것은 점수는 합격이었지만, 실제 유방의 디지털 유방촬영술에서 미

세석회화를 발견하는데 제한점이 있을 수 있음을 의미한다.

총점에서는 50:1까지의 압축비의 점수가 12점으로 합격에 해당하는 점수였다. 이는 50:1이라는 높은 압축 비율에서도 약간의 영상 손실은 따르지만 실제 임상적으로 의미가 없는 정도로 진단에 적합한 압축률임을 알 수 있었다.

JPEG2000압축 기법을 이용한 팬텀영상의 압축비율에 따른 비교를 연구한 Suryanarayanan 등(18)에 의하면 20:1까지의 압축비에서 대조도 - 해상도 특성에 차이가 없음을 보고하였다. 이들의 연구에서는 GE Senographe 2000D (Seno - graphe 2000D, GE Medical Systems, Milwaukee, WI)의 간접방식의 디지털 유방촬영술 시스템을 사용하였고, 본 연구에서는 Lorad Selenia의 직접방식의 디지털 유방촬영술 시스템을 사용하였다. 이 시스템은 thin film transitor (TFT)에 기초를 둔 유방촬영술의 직접방식을 사용하는데, X선 에너지를 광전도체 (amorphous selenium)가 흡수하여 바로 전기신호로 바꾼다. 이러한 방법은 간접방식과는 달리 X선을 빛으로 바꿀 필요가 없어 주어진 방사선량으로부터 더 많은 정보를 보존할 가능성이 있어 (higher detective quantum efficiency, DQE) 같은 방사선량으로 신호를 증대시키거나, 비슷한 영상의 질을 위해서는 방사선량을 줄일 수 있는 가능성이 있다 (19). 직접방식의 유방촬영술을 사용한 본 연구에서는 간접방식을 사용한 연구에서보다 높은 50:1의 압축 비율까지 합격점을 얻었다. 이는 형광체 (phosphor)가 필요 없는 직접방식의 영상이 팬텀점수나 임상화질 평가에서 간접방식보다 우수한 결과를 보이기 때문일 수 있다.

본 연구의 제한점은 압축시킨 영상이 실제 유방의 디지털 촬영술이 아닌 팬텀이었다는 것이다. 좀 더 실용적인 임상에서의 적용을 위해서는 실제 유방의 디지털 유방촬영술을 대상으로 한 일반화된 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 JPEG2000은 유방촬영술에서 비교적 영상의 손실 없이 높은 비율의 압축이 가능한 효율적인 압축 기법이다.

참 고 문 헌

1. Beutel J, Sonka M. *Handbook of Medical Imaging.* volume 2. *Medical Image Processing and Analysis* Washington, DC: SPIE Press, 2000:583-590
2. Beutel J, Kim YM, Horii CS. *Handbook of Medical Imaging.* volume 3. *Display and PACS Washington*, DC: SPIE Press, 2000:223-271
3. Chan HP, Lo SC, Niklason LT. Ikeda DM, Lam KL. Image compression in digital mammography: effects on computerized detection of subtle microcalcifications. *Med Phys* 1996;23:1325-1336
4. Egashira K, Nakata H, Watanabe H. Uchida K, Nakamura K, Ishino Y, et al. Clinical evaluation of irreversible data compression for computed radiography of the chest. *J Digit Imaging* 1998;11:176-181
5. Foos DH, Muka E, Slone RM. JPEG 2000 compression for medical imagery. Medical Imaging 2000: PACS Design and Evaluation, *Eng Clin Issues* 2000;3980:85-96
6. Good WF, Sumkin JH, Ganott M, Hardesty L, Holbert B, Johns CM, et al. Detection of masses and clustered microcalcifications on data compressed mammograms: an observer performance study. *AJR Am J Roentgenol* 2000;175:1573-1576
7. Beutel J, Kim YM, Horii CS. *Handbook of Medical Imaging*. volume 3. *Display and PACS* Washington, DC: SPIE Press, 2002:221-275
8. Savcenko V, Erickson BJ, Persons KR, Campeau NG, Huston J 3rd, 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;13 Suppl 1:183-185
9. Sung MM, Kim HJ, Yoo SK, Choi BW, Nam JE, Kim HS, et al. Clinical evaluation of compression ratios using JPEG2000 on computed radiography chest images. *J Digit Imaging* 2002;15:78-83
10. Christopoulos C, Skodras A, Ebrahimi T. The JPEG2000 still image coding system: An Overview. *IEEE Trans Consumer Electronics* 2000;46:1103-1127
11. 차순주, 김용훈, 허 감. PACS 설치시 영상 데이터 용량 산정에 관한 연구. *대한방사선의학회지* 2000;42:705-708
12. 차순주, 김용훈, 김형석, 황윤준, 김수영, 허 감 등. PACS에 이용되는 압축영상의 화질 평가: 4K고해상도 CR영상의 장기저장을 위한 적정 압축률. *대한PACS학회지* 2001;7:9-12
13. 성민모, 김희중, 김은경, 곽진영, 유재경, 유형식. JPEG2000을 이용한 Digital Mammography 영상의 압축 비율별 임상적 평가. *대한PACS학회지* 2001;7:13-19
14. Pennebaker WB, Mithell JL. *JPEG still image data compression standard*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992
15. ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N505, *Call for contributions for JPEG2000(JTC 1.29.14.15444): Image Coding System*. March 21, 1997
16. 차순주, 홍성완, 김용훈, 황윤준, 서정욱, 김수영 등. PACS에서의 CT와 MR 영상의 장기저장에 적용할 JPEG2000 손실압축률의 임상적 평가. *대한영상의학회지* 2006;54:227-233
17. 조나리야, 차주희, 문우경. 디지털 유방촬영술. *대한영상의학회지* 2005;52:225-231
18. 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
19. Pisano ED, Yaffe MJ. Digital mammography. *Radiology* 2005;234: 353-362

J Korean Radiol Soc 2007;56:603 - 608

Evaluation of Mammographic Phantom Images Using JPEG2000 Image Compression[1]

Young-Joo Chung, M.D., Sang-Kyu Yang, M.D., Su-Wan Kim, M.D., Chae-Yeon Lyou, M.D., Byung-Hee Lee, M.D., Kie-Hwan Kim, M.D.

[1]*Department of Radiology, Korea Cancer Center Hospital*

Purpose: To determine the usefulness of compression standard JPEG2000 for compression of mammographic images.

Materials and Methods: Image of a mammographic phantom was compressed using JPEG2000 at ratios of 10:1, 20:1, 30:1, 40:1, 50:1 and 60:1. The sizes of the images were compared, and scores were recorded by counting the numbers of fibers, groups of specks and masses seen in each phantom image. More than four fibers, three groups of specks and three masses and a total score of 10 were considered acceptable.

Results: The size of a DICOM image was 17,042 KB, a TIFF image was 8,324 KB, the original JPEG image was 1,506 KB and the most compressed image (50:1) above an acceptable total score of 10 was 43 KB. In each category, the compression image of fiber was acceptable up to compression ratio of 50:1 (score of 5), groups of specks was acceptable up to 60:1 (score of 3) and mass was acceptable up to 50:1 (score of 3.5). The total score, which was acquired by adding up the individual scores of all three categories, for a compression ratio of 50:1 was 12 and was acceptable, but the total score for 60:1 was 8 and was not acceptable.

Conclusion: The compression standard JPEG2000 is an efficient means for compressing mammographic images at high ratios without compromising diagnostic value.

Index words : Breast, radiography
Data compression
Picture archiving and communication system (PACS)
Phantoms

Address reprint requests to : Sang-Kyu Yang, M.D., Department of Radiology, Korea Cancer Center Hospital
215-4 Gongneung-dong, Nowon-gu, Seoul 139-706 Korea.
Tel. 82-2-970-1576 Fax. 82-2-978-2005 E-mail: twoscan@naver.com