대한방사선의학회지 1999;41:611-617

디지털 골영상: 압축영상의 화질평가[1]

홍성환 · 김종효 · 구진모 · 천정은 · 김영훈 · 이동경 · 차주희 · 송치성[3]
김용석[2] · 강흥식 · 한만청

목적 : 골영상분야에서 영상압축으로 인한 화질저하를 평가하여 어느 정도의 압축률로 압축하면 진단에 장애를 초래하지 않고 임상적으로 이용가능한지 알아보고자 하였다.
대상 및 방법 : 컴퓨터 촬영장치로 촬영한 32 예의 골종양영상을 대상으로 하였다. 이들의 원본영상을 Q 상수 30, 70, 120의 3 가지 압축률로 JPEG (Joint Photographic Expert Group) 기법을 이용하여 압축하였다. 총 96 쌍의 원본영상 - 압축영상 짝을 무작위 순서로 배열한 다음 두 개의 고화질 모니터에 한 쌍씩 나란히 전시하였다. 3 명의 방사선과 의사가 독립적으로 화질을 평가하였고, 2 가지 분석방법으로 화질을 비교하였다. 먼저 나란히 전시된 두 영상의 여러 가지 요소 중 골종양과 관련된 소견, 선상음영, 연부조직을 보여주는데 있어 압축영상보다 원본영상이 우수한지 또는 열등한지를 5등급으로 나누어 보았다. 두 번째 방법으로 나란히 전시된 두 영상 중 어느 쪽이 총체적인 화질이 우수한지를 선택하도록 하여 원본영상이 압축영상에 비하여 선택되는 빈도가 얼마나 높은지를 알아보았다. 이와 함께 화질저하가 있다고 보았을 때 그로 인하여 진단이나 감별진단에 장애를 초래할 수 있는지를 알아 보았다.
결과 : 2 가지 방법의 분석결과 Q 상수 30의 압축영상은 원본영상에 비하여 유의한 화질의 차이가 없었다. Q 상수 70 및 120의 압축영상은 원본영상에 비하여 화질이 열등하였다. Q 상수 70 압축영상의 경우 진단이나 감별진단에 영향을 줄 수도 있다고 지적된 경우가 96 회의 관찰 중 15 회, Q 상수 120 압축영상의 경우는 35 회였다.
결론 : JPEG 기법으로 압축하였을 때 Q 상수 30의 압축 골영상은 원본영상과 비교하여 유의한 화질의 차이가 없어 임상진단에 이용할 수 있다. 그러나 Q 상수 70이나 120의 압축영상은 화질저하가 진단에 장애를 초래할 수 있으므로 임상적용이 불가능하다.

최근 디지털 영상이 병원진료에 이용되면서 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 PACS (Picture Archiving and Communication System)가 도입되고 인터넷 등을 이용한 원거리 화상회의가 추진되면서 디지털 영상 데이터를 효율적으로 압축처리하는 문제가 중요하게 되었다. 디지털 영상 데이터를 압축처리함으로써 데이터의 용량을 줄여 데이터 저장을 용이하게 하고 데이터 전송 및 실행속도를 증가시킬 수 있으므로 경제성과 신속성을 확보할 수 있기 때문이다. 그러나 압축으로 인하여 데이터 손실이 따르게 되므로 영상의 화질저하를 초래할 수 있다. 따라서 데이터 압축에 따른 화질저하에 대한 연구들이 진행되었다 (1-8).

이전의 연구들은 주로 흉부영상의 화질평가에 관한 것으로 골영상에 대한 연구는 제한적으로 이루어졌다 (1, 2). 병변이 있는 골영상을 압축처리하였을 때의 화질저하는 실제 진단과정에 영향을 줄 수 있으므로 중요하다. 따라서 압축처리한 골영상이 병변을 얼마나 분명하게 보여 주는가를 평가하고, 어느 정도의 압축률로 압축한 영상이 임상적으로 이용가능한지 알아보았다.

[1]서울대학교 의과대학 방사선과학교실
[2]서울대학교병원 의료정보실
[3]보라매병원 방사선과
이 논문은 1999년 1월 15일 접수하여 1999년 6월 15일에 채택되었음.

대상 및 방법

1998년 2월 1일부터 8월 31일까지 본원에서 컴퓨터 X-선 장치 (FCR 9000, Fuji Photo Film Co Ltd., Japan)로 촬영한 32 예의 양성 및 악성 골종양영상을 대상으로 하였다. 사지와 두개골에서 발생한 종양을 선택하였고 척추에서 발생한 종양은 제외하였다. 골용해성 병변 또는 골용해성-경화성 혼합병변의 증례를 포함시켰고 순수한 경화성병변은 제외하였다. PACS 저장장치로부터 개인용 컴퓨터로 각각의 영상파일을 전송한 후 먼저 원본영상의 window level 과 window width를 적절히 조절한 다음 12비트 JPEG (Joint Photographic Expert Group) 방식으로 압축하였다. 이 때 Q 상수 30, 70, 120

의 3 가지 압축률로 압축하였는데, 이들의 평균 압축정도는 각각 22:1, 51:1, 95:1 이었다. 원본영상의 용량은 6557 - 9806 KB로 평균 7358 KB였다. 이용한 컴퓨터는 Microsoft 윈도 NT (Microsoft, Redmond, WA, U.S.A.)를 운영체계로 하는 IBM 호환기종이었으며, 중앙연산장치는 Pentium Pro-200MHz, 주기억장치의 용량은 128 MB였다.

32 쌍의 원본영상 - Q30 의 압축영상 (Q30 군), 32 쌍의 원본영상 - Q70 의 압축영상 (Q70 군), 32 쌍의 원본영상 - Q120 의 압축영상 (Q120 군), 총 96 쌍의 영상을 섞어서 무작위 순서로 배열하였다. 2 개의 고화질 모니터 (2048×2560 화소, Dataray Corp., Denvor, U.S.A.)를 나란히 배치하고 한 쪽에는 원본영상을, 반대쪽에는 압축영상을 동시에 전시하였다. 원본영상이 어느 쪽인지는 알려 주지 않았고, 원본영상과 압축영상을 어느 쪽 모니터 (A, B)에 전시하는가 하는 것도 무작위로 결정하였다. 모니터 차이로 인한 화질 차이를 보정하기 위하여 조도계를 이용하여 두 모니터에서 나오는 빛의 양이 100 ft-lambert로 서로 같도록 보정하였고 초점을 맞추었다. 세 명의 방사선과 의사가 두 개의 모니터에 전시된 영상 간의 화질 차이를 독립적으로 평가하도록 하였다. 대개의 골종양병변은 쉽게 인지할 수 있었고 2 예에서는 병변을 파악하기가 어려웠는데 이 때는 병변의 위치를 알려 주었다.

2 가지 평가방법을 적용하였는데 그 중 하나는 2 개의 모니터에 나란히 전시된 두 영상을 3 가지 항목별로 비교하는 방법이었다. 먼저 골종양의 전체적인 윤곽, 내부 골파괴의 양상, 피질골의 변화, 동반된 골막반응 등 종양과 관련된 소견들이 얼마나 분명하게 보이는지를 비교하였다. 두 번째로 정상골의

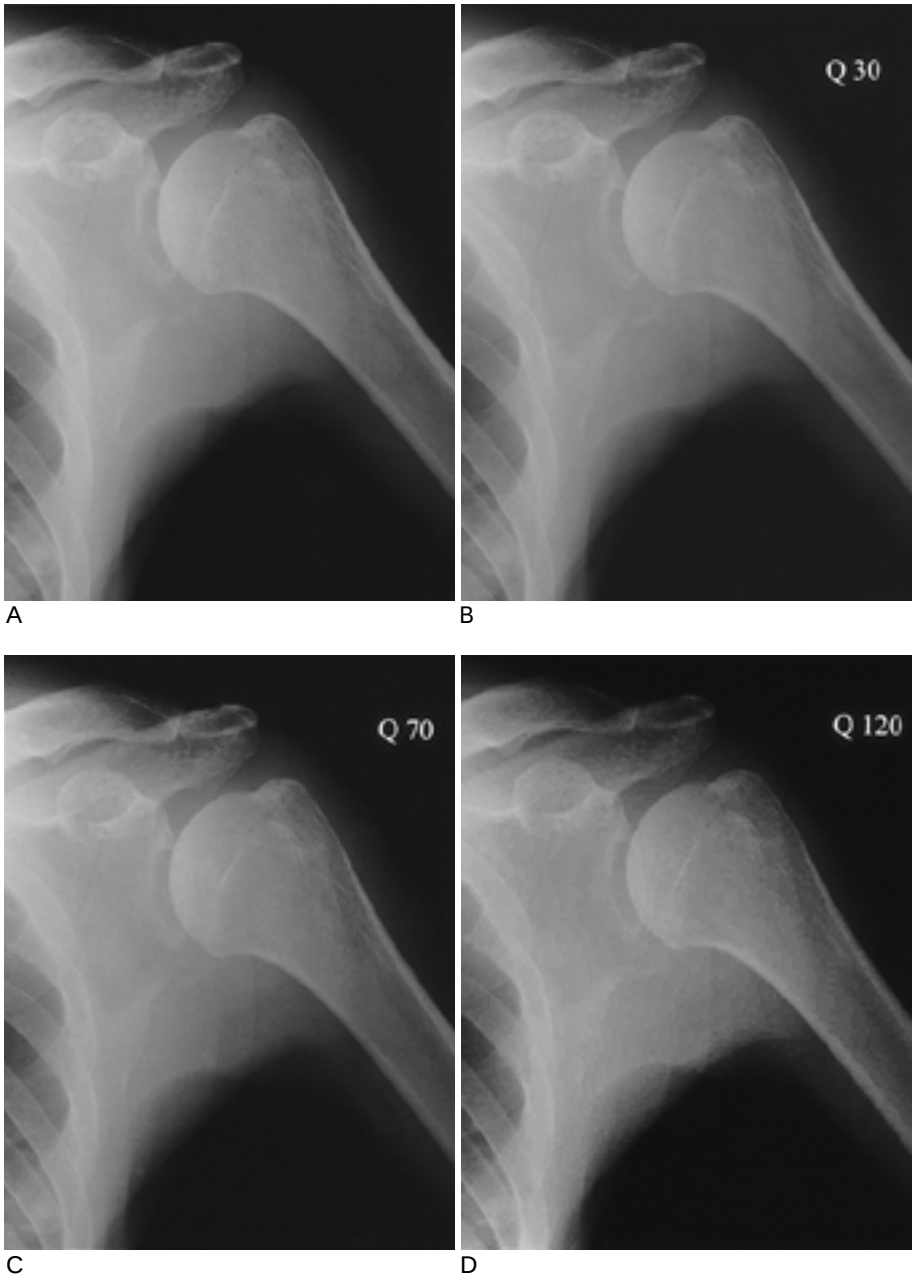

Fig. 1. Metastasis in the scapula
Destructive bony lesion is seen at the lateral border of the scapula. Compressed image with Q factor 30 (B) reveals no perceptible difference comparing with uncompressed image (A). Compressed images with Q factor 70 and 120 (C and D) show relatively poor definition of the lesion. Linear opacities such as rib margins are blurred, and soft tissue densities are inhomogeneous in C and D.

골소주 (trabeculae)나 정상 피질골의 표면 등 선상음영이 어느 쪽에서 더 분명하고 섬세하게 보이는지를 평가하였다. 세 번째는 연부조직음영으로 어느 영상에서 더 부드럽고 균질하게 보이는지를 비교하였다. 이들 세 가지 항목을 다음과 같이 등급화하여 평가하였다.

A2: A 모니터의 영상이 B 모니터의 영상보다 낫다.
A1: A 모니터의 영상이 B 모니터의 영상보다 나은 것 같다.
0 : A, B 모니터의 영상간에 차이가 없다.
B1: A 모니터의 영상이 B 모니터의 영상보다 못한 것 같다.
B2: A 모니터의 영상이 B 모니터의 영상보다 못하다.

본격적인 평가에 앞서 평가자들 간에 평가기준을 통일하기 위하여 위의 32 예에 포함되지 않은 별도의 3 쌍의 원본영상 - Q120의 압축영상을 예시하여 의견을 교환하였다. 평가 시에는 두 영상간의 화질차이가 미미다고 생각하는 경우에도 예민하게 평가할 것을 주문하였다. 골종양병변에 대한 위의 3 가지 항목들을 평가한 후, 두 영상간에 화질의 차이가 있다고 보았을 때 그러한 차이로 인하여 진단이나 감별진단에 지장을 줄 수 있다고 생각하는지를 물어 보았다. A, B 모니터간의 화질차이를 원본영상과 압축영상간의 화질차이로 다음과 같이 정리하여 분석하였다.

-2: 원본영상이 압축영상보다 못하다.
-1: 원본영상이 압축영상보다 못한 것 같다.
0: 원본영상과 압축영상간에 화질차이가 없다.
1: 원본영상이 압축영상보다 나은 것 같다.
2: 원본영상이 압축영상보다 낫다.

원본영상과 압축영상 간에 화질차이가 있는지를 분석하기 위하여 Wilcoxon signed-rank test를 이용하였다.

두 번째 분석방법으로 두 가지 영상 중 총체적인 화질이 어느 쪽이 더 우수한지를 선택하도록 하였다. 이 때의 선택은 앞선 3 가지 항목의 화질평가결과 뿐만 아니라 어느 쪽을 원본영상이라고 생각하는지의 주관적 느낌을 중시하여 결정하도록 하였다. 만약 두 영상간의 화질차이가 거의 없다고 생각하더라도 반드시 어느 한쪽을 선택하도록 하였다. 2 가지 영상 간에 화질차이가 없다면 각각이 선택될 확률은 0.5 이므로, 원본영상 또는 압축영상이 선택되는 빈도가 0.5 보다 얼마나 큰지를 알아봄으로써 어느 쪽이 더 빈번하게 우수하다고 지적되었는지를 알 수 있다. 이를 분석하기 위하여 binomial distribution test를 이용하였다.

결 과

3 가지 항목을 등급화하여 분석한 결과는 Table 1 - 3 과 같다. 종양과 관련된 소견은 Q30 군에서 평가자들은 일부 증례에서 원본영상 - 압축영상간에 화질의 차이가 있다고 보았으나 전체적으로는 통계적으로 유의한 화질의 차이는 없었다. 그러나 Q70 군과 Q120 군에서는 3 명의 평가자들 모두 원본영상이 압축영상보다 병변을 더 정확히 보여주는 것으로 평가하였다 (Table 1). 선상음영과 연부조직에 대해서도 Q30 군에서 3 명의 평가자들 모두 원본영상 - 압축영상 사이에 통계적으로 유의한 화질차이가 없다고 평가하였다. Q70 군과 Q120 군에서는 3 명의 평가자들 모두 원본영상이 압축영상보다 정상골의 골소주나 정상 피질골의 표면을 더 분명하고 섬세하게 보여주는 것으로 평가하였다. 또한 Q70 군과 Q120 군에서 연부조직에 대해서도 3 명의 평가자들 모두 원본영상이 더 우수하다고 평가하였

Table 1. Tumor-related Features

	Reader 1					Reader 2					Reader 3				
	-2	-1	0	1	2*	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
UC: Q30 CM	1	4	20	7	0	1	5	22	3	1	0	0	30	2	0
UC: Q70 CM	0	1	7	16	8	0	2	16	7	7	0	0	18	12	2
UC: Q120 CM	0	0	5	6	21	1	0	2	13	16	0	0	11	13	8

UC: uncompressed image
CM: compressed image
*-2: Uncompressed image is inferior to compressed image.
-1: Uncompressed image may be inferior to compressed image.
0: Uncompressed image is equal to compressed image.
1: Uncompressed image may be superior to compressed image.
2: Uncompressed image is superior to compressed image.

Table 2. Linear Structures

	Reader 1					Reader 2					Reader 3				
	-2	-1	0	1	2*	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
UC: Q30 CM	1	1	26	4	0	2	8	15	6	1	0	1	27	4	0
UC: Q70 CM	0	1	11	12	8	0	4	9	9	10	0	1	13	13	5
UC: Q120 CM	0	0	0	8	24	1	0	0	4	27	0	1	4	12	15

UC: uncompressed image
CM: compressed image
*same as in table 1.

다 (Table 2, 3). Q30군에서는 2예에서 3 명의 평가자들 모두 각각의 분석항목에서 등급 1로 일치된 견해를 보인 경우를 제외하고는 서로 다른 등급으로 평가하였다. 그러나 이와 같은 소수의 증례에서 화질차이가 있다고 평가한 것으로는 통계적인 의미를 부여할 수 없었다. 3 가지 분석항목 사이에 등급의 차이가 있는지를 분석하여 보았는데 Q30 군에서는 3 가지 항목간에 유의한 등급의 차이가 없었다. Q70 군에서는 종양과 관련된 소견과 선상음영간에는 차이가 없었다. 그러나 연부조직은 종양과 관련된 소견이나 선상음영에 비하여 평균등급이 높았다. Q120 군에서는 연부조직이 나머지 2 항목보다 평균등급이 높았고, 선상음영은 종양과 관련된 소견보다 평균등급이 높았다.

원본영상 - 압축영상 화질비교에서 총체적인 화질이 어느 쪽이 우수한지 선택하게 했을 때의 결과는 Table 4와 같다. Q30 군에서는 3 명의 평가자들 모두가 원본영상을 선택하는 빈도와 압축영상을 선택하는 빈도간에 차이가 없었다. 그러나 Q70 및 Q120 군에서는 3 명의 평가자들 모두에서 원본영상을 선택하는 빈도가 유의하게 높았다. Q70 압축영상의 경우 진단이나 감별진단에 영향을 줄 수도 있다고 지적된 경우가 96 회

Table 3. Soft Tissue Homogeneity

	Reader 1					Reader 2					Reader 3				
	-2	-1	0	1	2*	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
UC: Q30 CM	1	4	20	7	0	5	11	8	3	5	1	1	22	8	0
UC: Q70 CM	0	0	8	11	13	0	3	3	6	20	0	0	6	14	12
UC: Q120 CM	0	0	3	4	25	1	0	0	2	29	0	0	1	3	28

UC: uncompressed image
CM: compressed image
*same as in table 1.

Table 4. Frequency of Selections as a Better One in Each Pair of Uncompressed and Compressed Images. (binomial distribution test)

	Reader 1	Reader 2	Reader 3	All readers
UC: Q30 CM	21: 11 (.112)	12: 20 (.216)	21: 11 (.112)	54: 42 (.262)
UC: Q70 CM	30: 2 (.000)	27: 5 (.000)	30: 2 (.000)	87: 9 (.000)
UC: Q120 CM	30: 2 (.000)	31: 1 (.000)	32: 0 (.000)	93: 3 (.000)

UC: uncompressed image
CM: compressed image

A B C D

Fig. 2. Aneurysmal bone cyst in the distal femur.
There is no identifiable difference between uncompressed (A) and compressed image with Q factor 30 (B). On compressed image with Q factor 120 (D), border of the lesion is more indistinct than on A and B, internal trabeculations are fuzzy, and soft tissues are inhomogeneous. To lesser degree, compressed image with Q factor 70 (C) also shows these patterns of image degradation.

의 관찰 중 15 회, Q120 압축영상의 경우는 35 회였다.

고 찰

영상압축기법은 원래의 영상정보를 복원할 수 있는가의 여부에 따라 가역적 기법과 비가역적 기법으로 나눌 수 있다. 가역적 기법으로 압축된 영상은 원본영상으로 완전히 복구할 수 있는 장점이 있으나 의학영상에 적용되는 경우 압축률이 2:1 내지 4:1 정도로 제한되어 있다. 이에 반하여 비가역적 기법으로 압축된 영상은 일부 영상데이터를 소실하여 원본영상으로 복원할 수 없는 단점이 있으나 높은 압축률을 적용함으로써 경제성을 확보할 수 있다 (3). 압축영상의 진단적 가치를 유지할 수 있는 가장 높은 압축률은 흉부영상의 경우 20:1 내지 40:1 로 알려져 있다 (1, 4-7).

압축영상이 실제 진단과정에 적용될 수 있는 근거는 원본영상과 비교했을 때 유의한 화질저하가 없어 압축으로 인한 진단장애를 초래하지 않는데 있다. 원래의 영상데이터를 일부 생략한 상태에서 눈에 띄는 화질저하를 초래하지 않는 원리는 다음과 같다. 한 영상 내에서 이웃하고 있는 화소의 정보는 공간적으로 밀접한 관련이 있고, 진단을 위해서 이들 모든 정보가 필요하지 않다는 것이다. 따라서 영상압축과정은 인접한 화소간의 연관관계를 이용하여 데이터를 묶거나, 중요하지 않은 영상정보를 제거함으로써 가능하다 (2).

JPEG 방식은 현재 가장 널리 이용되고 있는 영상 데이터 압축 기법으로, 몇 개의 화소를 하나로 묶어 가장 근사치를 계산한 후 이 값만을 기억하는 방식이다. 이 과정에서 데이터 용량이 적어지지만 압축해제 시 원래 개개의 화소값으로 복원되지 못하여 영상의 열화가 일어난다. 이런 류의 영상 열화는 JPEG 방식 뿐만 아니라 다른 DCT (discrete cosine transform)에 기초한 모든 압축방식이 공통적으로 안고 있는 문제점이기도 하다. 영상 열화의 주 원인이 몇 개의 화소를 묶는 과정에서 발생하므로 그 결과는 블록음영으로 나타난다. 이 블록음영은 압축률이 증가할수록 더 두드러진다 (9).

압축영상의 화질평가에서 흉부영상이 주된 대상이 된 것은 흉부영상이 방사선 검사 중 가장 많은 부분을 차지하고, 흉부영상을 판독하기 위해서는 2048×2048 화소 이상의 고화질 영상이 요구되기 때문이다 (4, 10). 골영상에 대한 압축영상 화질평가는 제한적으로 이루어졌는데, 손가락 뼈의 골막하 용해를 발견하는데 있어 원본영상과 24:1 압축영상 사이에 유의한 화질차이가 있다는 보고가 있었다 (1, 2). 비록 이전 실험들이 골영상의 압축영상 화질을 평가한 것이기는 하나 이들이 대상으로 한 것은 일반 필름을 스캔하여 디지털화한 것이거나 컴퓨터 촬영장치로 촬영한 경우에도 필름화시킨 것들이었다. 이번 연구에서는 처음부터 컴퓨터 촬영장치를 이용하여 얻은 영상들을 모니터상에서 평가하였다는 의의가 있다.

이 연구에서는 두 가지 영상의 화질차이를 밝혀내는 방법으로 영상의 화질을 등급화하여 비교하는 방법과, 두 가지 영상 중 화질이 좋은 쪽을 강제로 선택하게 하는 방법을 이용하였다. 이 2 가지 분석의 결과는 서로 일치하였다. 즉 원본영상과 Q30의 압축영상간에는 유의한 화질의 차이가 없었고 Q70 및 120의 압축영상은 원본영상보다 화질이 떨어졌다 (Fig. 1, 2). 일반적으로 두 가지 영상의 화질이 서로 비슷하여 화질차이를 구분하기 어려운 경우, 각각의 영상화질을 등급화하여 비교하는 방법보다 두 영상 중 우수하다고 생각하는 하나를 강제로 선택하게 하는 방법이 화질차이를 알아 내는데 더 예민하다고 알려져 있다 (11). 따라서 후자의 방법으로 분석한 경우에도

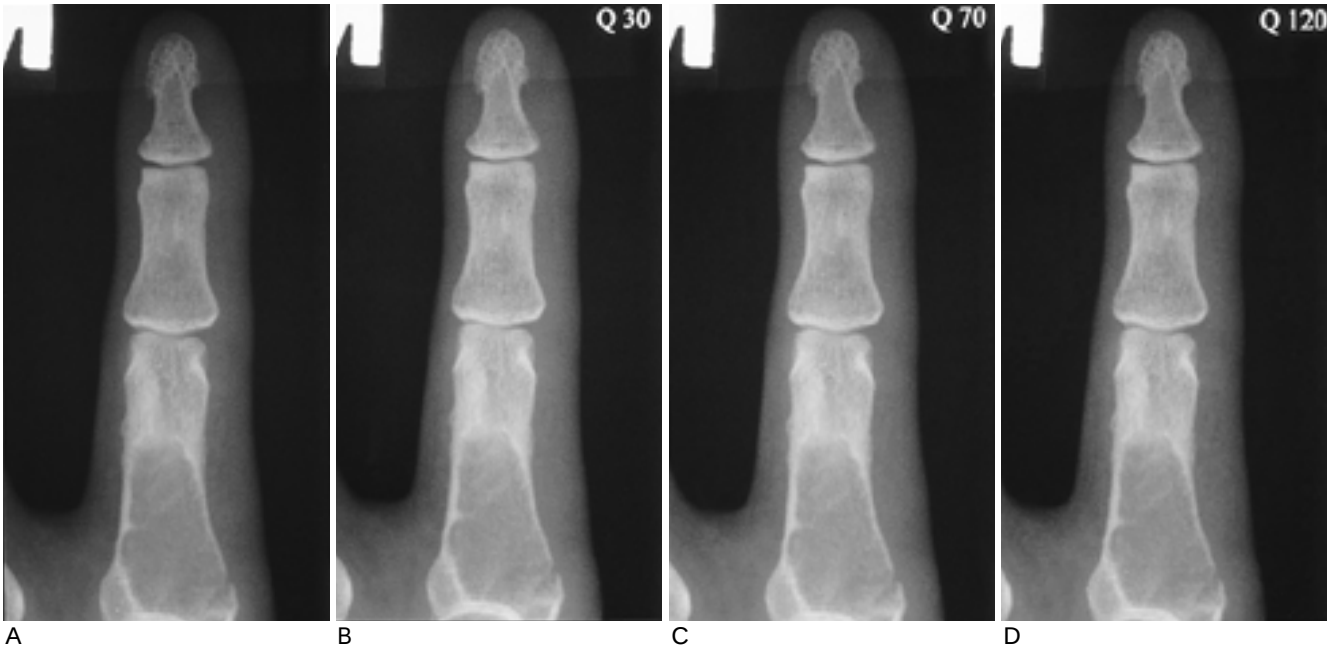

Fig. 3. Enchondroma in the proximal phalanx.
All of four uncompressed and compressed images (A - D) are nearly same each other.

원본영상과 Q30의 압축영상간에 화질의 차이가 없다는 결론은 양자간에 화질차이가 없음을 분명히 해 주는 결과이다.

골종양 증례를 대상으로 하여 화질을 주요 항목별로 분석함으로써 압축영상이 실제 진단이나 감별진단과정에 영향을 끼칠 수 있는 지를 검증할 수 있었다. 골종양과 관련된 소견들 (병변의 전체적인 윤곽, 골파괴의 유형, 피질골의 변화, 골막반응)이 얼마나 분명하게 보이는가 하는 것은 병변의 발견뿐만 아니라 감별진단에도 중요하다. 병변의 경계가 불분명할수록 악성골종양일 가능성이 높기 때문이다. 골파괴의 유형을 파악하는 것은 병변의 감별진단에 있어 중요하다. 골파괴의 유형은 크게 세 가지로 나눌 수 있는데 분명한 경계를 보이는 지도형 (geographic), 부분부분 파먹은 듯한 모양 (moth-eaten), 채와 같이 촘촘한 모양의 골용해 (permeative)가 그것이다. 지도형의 골파괴는 서서히 자라는 골종양을 시사하고, 나머지 두 가지 유형은 빠르게 자라는 종양의 골파괴 양상이다 (12). 특히 촘촘한 모양의 골파괴는 높은 악성도의 골종양이나 일부 양성병변을 의미하는데 미세한 소견을 보이므로 화질에 따라 발견하기 어려울 수도 있다.

Q70이나 Q120의 압축영상의 경우 종양의 전체적인 윤곽을 파악하는데는 큰 어려움이 없었는데 이는 대상이 된 증례들이 대부분 지도형 골파괴를 보였기 때문이다. 그러나 압축영상은 원본영상과 비교하면 종양의 섬세한 부분들에서 거칠게 보이는 경향이 있어 구별이 가능하였다. 순수한 골용해성 병변인 경우 종양병변과 정상골간의 대조도가 높아서 종양이 분명하게 보였는데, 이 때는 압축으로 인한 화질저하가 병변을 평가하는데 큰 영향을 주지 않았다. 반대로 병변의 특성이 골용해성 - 골경화성의 혼합유형이거나 내부 음영이 비교적 높은 경우에서는 상대적으로 대조도가 낮았고, 압축 시 심한 블록음영이 형성되어 화질저하가 두드러졌다. 한편 압축영상에서 오히려 종양의 경계가 분명하게 느껴지는 경우도 있었다. 이는 원본영상에서는 종양과 주변정상골 사이의 경계부가 부드럽게 이행되는 반면 압축영상에서는 종양과 종양주변 정상골 사이의 경계부가 급격히 이행되어 대조도가 증가되기 때문이었다. 이와 같이 종양의 경계가 압축영상에서 더 분명하게 보이는 경우가 있었지만 실제 종양의 모양을 왜곡한 결과이므로 화질이 더 우수하다고 볼 수는 없었다.

Goldberg 등 (1)은 골영상의 경우 골피질이나 골소주의 특성 상 흉부영상에 비하여 압축에 의해 더 예민하게 열화를 일으킨다고 보았다. 정상골의 골소주나 정상 피질골의 표면 등 선상음영이 얼마나 명확하고 섬세하게 보이는가 하는 것은 섬세한 뼈의 변화를 발견, 평가하는데 화질이 어떠한 영향을 미칠 것인지를 가늠해 볼 수 있는 지표가 될 것이다. Q70이나 Q120의 압축영상에서는 원본영상에 비하여 선상음영이 흐려지거나 섬세하게 보이지 않는 경우들이 있어서 진단과정에서 이로 인한 장애를 초래할 수 있다. 예를 들어 손가락 뼈의 미세한 골막하 용해나 매우 가늘어서 분명하지 않은 골절선 등은 화질저하로 인하여 보이지 않을 수 있을 것이다.

연부조직을 평가항목에 포함시킨 것은 영상의 압축으로 인한 열화를 비교적 분명하게 보여주기 때문이었다. 뼈는 내부구조가 복잡한 반면 주로 근육에 해당하는 연부조직은 균질한 특성이 있다. 골종양과 관련된 소견들이나 선상음영으로 화질차이를 감지하기 어려운 경우에도 연부조직에서는 압축으로 인한 블록음영을 발견하기가 비교적 용이하였다. 연부조직은 원본영상에서는 균질적이고 부드러운 음영을 보인 반면 Q70과 Q120 압축영상에서는 비균질적이고 거칠게 보였다. 실제로 평가자들은 두 영상 중 어느 쪽이 원본영상 또는 압축영상인지 짐작하기 어려울 때 연부조직을 비교해봄으로써 구분할 수 있다고 하였다. Q30 군에서는 압축영상에서의 연부조직이 원본영상과 거의 차이를 보이지 않았고 따라서 어느 쪽이 원본인지 구별하기가 불가능한 경우가 대부분이었다. Q30 군에서 화질이 우수한 쪽을 선택하도록 하였을 때 원본영상과 압축영상이 비슷한 빈도로 선택된 것은 이를 말해준다 (Table 3, 4).

Q70이나 Q120의 압축영상의 경우 영상화질이 저하되더라도 진단에 영향을 주지 않는 정도라면 압축영상을 임상적으로 이용할 수 있을 것이다. 그러나 화질저하로 인하여 진단이나 감별진단에 영향을 줄 수도 있다고 지적된 경우가 Q70 압축영상은 96 회의 관찰 중 15 회, Q120 압축영상은 35 회였다. 특히 Q120 압축영상 중 4 예에서는 블록음영이 심하게 형성되어 판독자체가 불가능하였다. 따라서 이 두 가지 압축영상을 임상적으로 이용하는 것은 바람직하지 않다고 생각한다.

같은 압축률로 압축하더라도 촬영부위에 따라 압축으로 인한 화질저하의 정도가 다름을 볼 수 있었다. 예를 들어 대퇴부나 상완부의 영상은 Q120 압축영상과 원본영상의 화질차이가 분명한 반면, 손가락부위를 촬영한 영상의 경우 압축영상과 원본영상의 구별이 매우 힘들었다 (Fig. 3). 손가락과 같이 작은 부위의 영상에는 상대적으로 여백에 해당하는 부분이 많고 연부조직이 적은 것이 하나의 이유가 될 것이다.

결론적으로 골영상을 JPEG 기법으로 압축하는 경우 Q 상수 30 (평균 압축률 22:1)까지는 유의한 화질저하가 없어 임상적으로 이용할 수 있다. 그러나 Q 상수 70 (평균 압축률 51:1)이나 Q 상수 120 (평균 압축률 95:1)의 압축영상은 화질저하로 인하여 진단에 장애를 줄 수 있으므로 임상적용이 불가능하다.

참 고 문 헌

1. Goldberg MA, Pivovarov M, Mayo-Smith WW, Bhalla MP, Blickman JG, Bramson RT, Boland GWL, Llewellyn HJ, Halpern E. Application of wavelet compression to digitalized radiographs, *AJR* 1994;163:463-468
2. Bramble JM, Huang HK, Murphy MD. Image data compression. *Invest Radiol* 1988;23:707-712
3. Cosman PC, Davidson HC, Bergin CJ, Tseng CW, Meses LE, Riskin EA, Olshen RA, Gray RM. Thoracic CT images: effect of lossy image compression on diagnostic accuracy. *Radiology* 1994; 190:517-524
4. Aberle DR, Gleeson F, Sayre JW, Brown K, Batra P, Young DA, Stewart BK, Ho BKT, Huang HK. The effect of irreversible image compression on diagnostic accuracy in thoracic imaging. *Invest Radiol* 1993;28:398-403
5. MacMahon H, Doi K, Sanada S, Montner SM, Giger ML, Metz CE, Nakamori N, Yin FF, Xu XW, Yonekawa H, Takeuchi H. Data compression: effect on diagnostic accuracy in digital chest radiog-

raphy. *Radiology* 1991;178:175-179
6. Ishigaki T, Sakuma S, Ikeda M, Itoh Y, Suzuki M, Iwai S. Clinical evaluation of irreversible image compression: analysis of chest imaging with computed radiography. *Radiology* 1990;175:739-743
7. Erickson BJ, Manduca A, Persons KR, Earnest F, Hartman TE, Harms GF, Brown LR. Evaluation of irreversible compression of digitized posterior-anterior chest radiographs. *J Digit Imag* 1997;10: 97-102
8. Lo S-C, Huang HK. Compression of radiological images with 512, 1024, 2048 matrices. *Radiology* 1986;161:519-525
9. Ho BKT, Tseng V, Ma M, Chen D. A mathematical model to quantify JPEG block artifacts. *Proc SPIE* 1993;1897:269-274
10. MacMahon H, Vvborny C, Metz CE, Doi K, Sabeti V. Solomon SL. Digital radiography of subtle pulmonary abnormalities: an ROC study of the effect of pixel size on observer performance. *Radiology* 1986;158:21-26
11. Gur D, Rubin DA, Kart BH, Peterson AM, Fuhrman DR, Rockette HE, King JL. Forced choice and ordinal discrete rating assessment of image quality: a comparison. *J Digit Imag* 1997;10:103-107
12. Resnick D. *Tumors and tumor-like diseases. In bone and joint imaging.* 2nd ed. W.B. Saunders Company 1996:979-987

J Korean Radiol Soc 1999;41:611-617

Computed Radiography in Skeletal Imaging:
Visual Assessment of Compressed Image Quality[1]

Sung Hwan Hong, M.D., Jong Hyo Kim, Ph.D., Jin Mo Goo, M.D., Jung-Eun Cheon, M.D., Young Hoon Kim, M.D., Dong Kyung Lee, M.D., Joo Hee Cha, M.D., Chi Sung Song, M.D.[3], Yong Seok Kim[2], Heung Sik Kang, M.D., Man Chung Han, M.D.

[1]*Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine*
[2]*Seoul National University Hospital Medical Informatics Center*
[3]*Department of Radiology, Boramae City Hospital*

Purpose : To evaluate the effect of lossy image compression on skeletal images and to determine the compression ratio which does not lead to difficulties when images are interpreted for diagnostic purposes.

Materials and Methods : Thirty-two computed radiographs (CR) of osteolytic bone tumors were obtained from Picture Archiving and Communication System. They were compressed to three different levels (Q factor 30, 70, 120) using the JPEG (Joint Photographic Expert Group) technique. Ninety-six pairs of uncompressed and compressed images were randomly ordered and then serially displayed on two high-resolution monitors. During a side-by-side review, three radiologists independently compared each pair of uncompressed and compressed images, and these were rated once using a five-category ordinal scale for tumor-related findings, linear structures, and soft tissues. The reviewers were then obliged to decide which image in each pair was of better quality, and finally, they were asked to evaluate the influence of image compression on diagnostic accuracy.

Results : The reviewers found no significant difference in image quality between uncompressed and compressed images with a Q factor 30. Compressed images with a Q factor of 70 or 120, however, revealed clinically relevant degradation. Among 96 observations of compressed images, 15 with a Q factor of 70 and 35 with a Q factor of 120 were considered inadequate for clinical purposes.

Conclusion : If the JPEG technique is used, compressed CR skeletal images with a Q factor of 30 are acceptable for clinical application. Compressed images with a Q factor of 70 or 120 may, however, cause diagnostic difficulty and thus cannot be used for clinical purposes.

Index words : Images, quality
Images, processing
Radiography, digital

Address reprint requests to : Jong Hyo Kim, PhD., Department of Diagnostic Radiology, Seoul National University Hospital
#28 Yongon-dong, Chongno-gu, Seoul, 110-744, Korea.
Tel. 82-2-760-3677 Fax. 82-2-743-6385