

확산강조영상에서 신호대 잡음비, 현성 확산 계수 변화에 따른 골다공증 평가

순천향대학교 부천병원 영상의학과

조재환 · 김영수

골다공증 환자를 대상으로 이중 에너지 X선 흡수(DEXA) 방법을 이용한 골밀도 영상에서는 T-score를 측정하고 자기공명영상 기법 중 확산강조영상에서는 신호대 잡음비와 현성 확산 계수를 측정한 다음 T-score변화에 따라 신호대 잡음비와 현성 확산 계수가 어떻게 변화하는지 알아보았다. 골다공증이 없는 건강한 사람 30명과 2009년 1월부터 2009년 12월 까지 허리 통증으로 내원한 환자 중 단순 방사선 촬영에서 골다공증 소견이 보이는 환자 30명을 대상으로 Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA)를 이용하여 척추 L1-L4부위의 T-score를 측정 후 각각의 척추에 대해서 골감소증, 골다공증으로 분류하였다. 1.5T MR scanner를 이용하여 b value를 400 s/mm²으로 획득한 확산강조영상에서는 L1-L4 네 부위에서 신호 강도(signal intensity)측정을 하였고 현성 확산 계수(apparent diffusion coefficient: ADC) map 영상에서는 현성 확산 계수를 측정하였다. 정량적 분석방법으로 관심영역의 T-score와 신호대 잡음비(signal to noise ratio)와 ADC를 구하고 평균화 하여 관심영역에서 T-score변화에 따른 신호대 잡음비와 현성확산계수의 변화를 비교하였고 T-score에 의해 골감소증, 골다공증으로 분류하여 그룹별로 신호대 잡음비와 현성확산계수의 변화도 비교하였다. 정성적인 분석방법은 육안적으로 건강한 그룹과 골감소증, 골다공증그룹의 T1강조 시상면 영상에서 요추체중 L4 부위에서의 신호강도 차이를 알아보았다. 정량적 분석에서 골감소증 그룹과 골다공증그룹은 T-score가 감소함에 따라 확산강조영상에서의 신호대 잡음비가 감소하여 나타났으며 골다공증 그룹에서 신호대 잡음비가 가장 크게 감소하였다. ADC map영상에서는 골감소증 그룹과 골다공증 그룹은 T-score가 감소함에 따라 현성 확산 계수는 감소해서 나타났고 건강한 그룹과 골감소증 및 골다공증 그룹의 경우 현성 확산 계수 차이는 골다공증 그룹에서 현성 확산 계수가 가장 낮게 나타났다. 정성적 분석에서는 건강한 그룹과 골감소증 및 골다공증 그룹에서 L4 부위의 신호강도는 건강한 그룹에서 가장 낮게 나타났고 골다공증 그룹에서 높게 나타났다. 골다공증이 진행 될수록 신호대 잡음비와 현성 확산계수는 감소하고 T1강조 영상에서는 신호강도가 증가 하는 결과를 얻었고 자기공명검사가 골다공증 진단에 유용함을 알 수 있었다.

중심단어: 골다공증, T-score, 확산강조영상, 신호대 잡음비, 현성확산계수

서 론

최근 문화수준의 향상과 의학기술의 발달로 평균 수명이 연장되어 현대 사회가 고령화되어 감에 따라 노인성 질환의 증가는 의료비 상승의 측면에서 심각한 사회 문제를 초래하게 되었다. 특히 노인성 대표 질환인 골다공증은 노인의 삶의 질뿐만 아니라 사회경제적 측면에 미치는 영향이 중요한 문제로 대두되고 있다.¹⁻³⁾

골다공증은 고령층에서 가장 흔한 대사성 골 질환으로

세계보건기구(WHO)에서는 골량이 감소하고 골조직의 미세구조에 변형이 발생하여, 골절에 대한 감수성이 증가하는 것을 특징으로 하는 질환이라 정의하고 있다.^{4,5)} 더 나아가 세계보건기구는 골밀도 측정을 통해 골다공증을 청년의 정상 골밀도 평균치를 비교해 T-score에 따라 세부적으로 분류 하였고 -1 ~ -2.5 S 이하는 골감소증(osteopenia), -2.5 S 이하는 골다공증(osteoporosis) -2.5 S 이하이며 동시에 한 부위나 여러 부위의 미세한 손상으로 인한 골절은 심각한 골다공증(osteoporosis)으로 분류하였다.⁶⁾ 한편, 미국 국립보건원에서는 최근 NIH Consensus Statement를 통해 골다공증을 골강도(bone strength)가 감소하여 골절에 대한 위험도가 증가하는 것을 특징으로 하는 질환이라 정의함으로써 골량의 개념에 대한 골강도의 상대적 중요성을 부각시키고 있다.⁷⁾ 미국에서는 800만 명의 여성이 골다공증, 2,200만

이 논문은 2010년 2월 1일 접수하여 2010년 3월 1일 채택되었음.
 책임저자 : 조재환, (420-767) 경기도 부천시 원미구 중동 1174번지
 순천향대학교 부천병원 영상의학과
 Tel: 032)621-5864, Fax: 032)621-5855
 E-mail: 8452404@hanmail.net

명이 골감소증으로 추정되고 국내에서도 폐경 후 여성에서 골다공증이 10%, 골감소증이 30% 전후로 보고될 정도로 유병률이 높은 질환이다.⁸⁻¹⁰⁾ 또한 골다공증이 심한 경우는 척추, 고관절, 손목 부위에 골절이 되는 경우가 많고 특히 노인에게서 골절이 되면 치료와 회복하는데 어려울 뿐만 아니라 심각한 합병증을 초래할 수도 있어 조기 진단과 치료가 중요하다.¹¹⁾ 골다공증 진단은 주로 골밀도 측정 방법이 이루어지고 있으며 정량적 측정법으로 현재 임상에서 이용되는 방법은 방사선 흡수법(radiographic absorptiometry, RA), 이중에너지 방사선 측정법(dual energy X-ray absorptiometry, DEXA), 정량적 전산화단층촬영(quantitative computed tomography, QCT/peripheral QCT, pQCT), 정량적 초음파(quantitative ultrasound, QUS), 정량적 자기공명영상(QMR) 등이 있다.¹²⁾ 여러 방법 중에서 주로 이중 에너지 X선 흡수(DEXA) 방법을 이용한 골밀도 측정이 많이 이루어지고 있고 이는 골다공증 진단에 민감한 것으로 보고하고 있으며¹³⁾ 골다공증 진료에 있어서 가장 적합한 표준 방법으로 인정되고 있다.¹⁴⁾ 하지만 현재 이중 에너지 X선 흡수 방법을 이용한 골밀도 측정이 많이 이루어지고 있지만 자기공명영상(MRI)을 이용한 측정법에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다. 자기공명영상(MRI)은 골다공증의 합병증으로 나타나는 척추압박 골절이나 부전골절(insufficiency fracture) 등을 민감하게 발견할 수 있다고 보고되고 있다.¹⁵⁾ 자기공명영상 기법 중 확산강조영상(diffusion weighted image)은 세포 내외 공간에서 수분의 이동을 영상화하는 기법으로 골격근 손상이 있을 때 신호 강도 변화를 조기에 진단할 수 있으며 특히 상대적으로 미약한 손상을 받은 경우 T2 강조영상보다 유의하게 민감하다고 보고하고 있다.¹⁶⁾ 또한 이런 수분의 확산 정도를 수치로 나타낸 것을 현성 확산계수

(apparent diffusion coefficient; ADC)라 하며 이는 세포 기질 변화에 민감하다.¹⁷⁾

이에 본 연구는 골다공증 환자를 대상으로 이중 에너지 X선 흡수(DEXA) 방법을 이용한 골밀도 영상에서는 T-score를 측정하고, 자기공명영상 기법 중 확산강조영상에서는 신호대 잡음비와 현성 확산 계수를 측정한 다음 T-score 변화에 따라 신호대 잡음비와 현성 확산 계수가 어떻게 변화하는지 분석하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

2009년 1월부터 2009년 12월까지 허리통증으로 내원한 환자 중 단순 방사선 촬영과 MRI 촬영에서 이상 소견이 없는 건강한 사람 30명과 단순 방사선 촬영과 MRI 촬영에서 골다공증 소견이 있는 환자 30명을 대상으로 하였으며 환자 병력상 외상이나 질환 등에 의해 척추에 손상이 있는 경우는 조사 대상에서 제외하였다. 대상 환자의 연령은 건강한 그룹은 30에서 45세(평균 38.3세)이며 골다공증 그룹은 50에서 70세(평균 62.83세)이었다.

2. 데이터 획득

척추와 대퇴골은 골다공증성 골절이 흔히 발생하는 부위이므로 이 두 부위를 측정하여 골밀도가 낮은 부위를 기준으로 진단할 수 있다고¹⁴⁾ 제시 되어 영상 획득 부위는 요추를 기준으로 하였으며 영상 획득은 부채꼴 빔(fan beam)을 사용하는 Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA: Prodigy Advance, General-electric Lunar, Medison, USA 기기를 이용하였고 스캔 후 얻어진 영상에서는 요추체(L-spine의 verte-

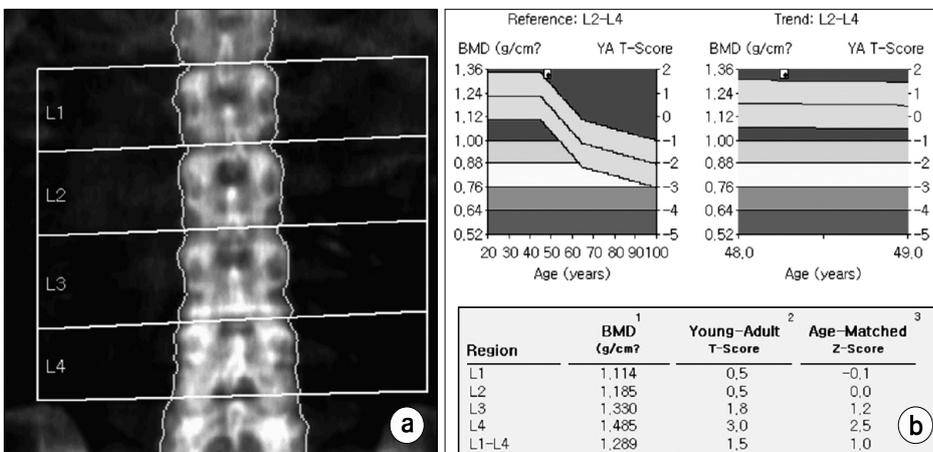


Fig. 1. Identification of ROI of the spine and measurement of T-scores. T-scores were calculated based on the bone mineral density measurements, which were made by drawing regions of interest (ROIs) around L1~L4 vertebral bodies after scanning L-spines using a DEXA machine. (a) Set of POI of the spine, (b) Measurement of T-scores.

bral body) 중 L1은 압박골절이 흔히 발생하고 L5는 골밀도의 편차가 너무 심하여 과거에는 L2~L4의 골밀도 평균치를 이용한 바 있으나 현재에는 ISCD 권고안에 의해서 L1~L4 평균치를 기준으로 진단하도록 되어있다.¹⁸⁾ 그러나 본 연구에서는 관심영역을 요추체중(L-spine의 vertebral body) 중 L1~L4 부위를 각각 그려서 골밀도(g/cm^2) 값을 측정 후 T-score를 구한 다음(Fig. 1) 각각의 척추에 대해서 $-1 \sim -2.5$ S 이하는 골감소증, -2.5 S 이하는 골다공증으로 분류 하였다.

MR 영상의 획득은 1.5 T MR scanner (Signa 1.5 T HDx. GE Healthcare. Milwaukee. WI)와 HD T/R 8 ch spine array coil (In vivo Corp. Gainesville. FL)을 이용하였다.

확산강조영상을 시행하기 전 골다공증 정도를 관찰하기 위하여 fast spin-echo (FSE) 영상법을 이용하여 T2 강조 영상(TR: time of repetition=3,500 msec, TE: time of echo=100 msec, NEX: average=2)과 T1 강조 영상(TR: time of repetition=600 msec, TE: time of echo=10 msec, NEX: average=2)인 시상면(sagittal plane)영상과 축상면(axial plane)영상을 각각 획득하였다.

확산강조영상은 b value를 $400 s/mm^2$ 으로 spin-echo EPI 기법을 이용하여 X, Y, Z 세 방향의 확산 강조 시상면 영상을 획득 하였으며 영상 변수는 다음과 같다.

TR: 6,000 ms, TE: 60 ms, Matrix: 128×192 , NEX: 4, Slice thickness: 4.5 mm, FOV: 280 mm, Scan Time: 1:42 ms

획득한 확산강조영상은 Advantage Workstation (Ver 4.3, Revision 4. GE healthcare. Milwaukee. WI)으로 보내져 ADC (apparent diffusion coefficient) map 영상을 획득하였다. 획득한 확산강조영상에서 1~5번의 요추체중(L-spine의 vertebral body) 중 골밀도 측정 부위와 동일시 하기 위해 L1~L4 네 부위에서 신호 강도(signal intensity)를 측정 하였고 ADC map 영상에서는 현성 확산 계수를 측정 하였다. 이때 관심영역(ROI)은 측정하고자 하는 해부학적 구조물을 최대한 많이 포함하도록 하였다(Fig. 2).

실험에 대한 정량적 분석방법으로 관심영역의 T-score와 신호대 잡음비(signal to noise ratio) 및 현성 확산 계수(apparent diffusion coefficient; ADC)를 구하고 평균화 하여 관심영역에서 T-score변화에 따른 신호대 잡음비와 현성확산계수의 변화를 비교하였고 T-score에 의해 골감소증, 골다공증으로 분류하여 그룹별로 신호대 잡음비와 현성확산계수의 변화도 비교하였다. 신호대 잡음비는 L1~L4 네 부위에서의 신호 강도 값을 백그라운드 표준편차(background standard deviation)의 신호강도 값으로 나누어 계산하였다.

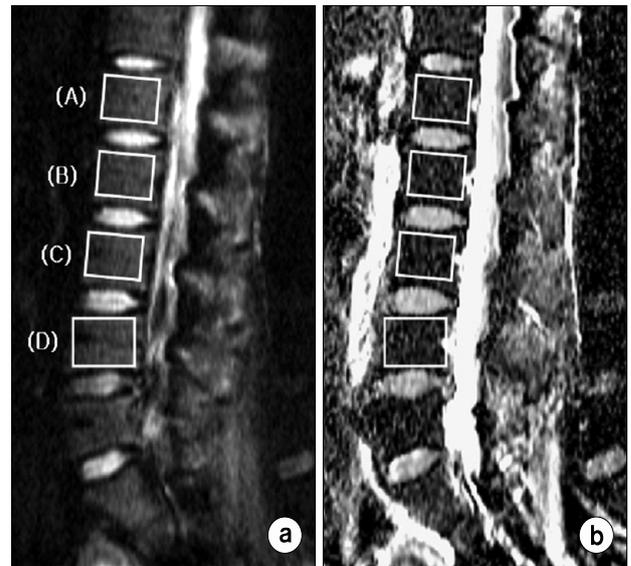


Fig. 2. ROI set of diffusion weighted image and ADC map image. (A) The first in a total of five spines. (B) The second in a total of five spines. (C) The third in a total of five spines. (D) The fourth in a total of five spines. Signal intensity measurements were made over L1~L4 among the five L-spine vertebral bodies on the diffusion weighted images obtained so that they could match the regions from which bone mineral density measurements were made, while ADC values were measured on the ADC map images. In doing this, ROIs were designated so that as many anatomical structures (landmarks) to be measured as possible could be included. (a) Diffusion weighted image, (b) ADC map image.

백그라운드 표준편차는 신호대 잡음비 효과를 정확하게 하기 위하여 좌상단과 우하단 두 곳에서 측정하여 평균값과 표준 편차로 나타냈다.

이 실험에 적용된 신호대 잡음비(signal to noise ratio)를 구하는 식은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{SI_{region, surroundingtissues}}{SDN}$$

SDN: standard deviation of noise in background

SI: signal intensity

L1~L4 네 부위에서 획득한 신호대 잡음비와 현성 확산 계수의 평균값 차이는 ANOVA 검증(ANOVA, SPSS win 12.0)을 이용하였고, 좀 더 정확한 차이를 알기 위하여 Scheffe 검증법을 이용하여 사후검증(post-hoc analysis)을 하였다. T-score와 신호대 잡음비 및 현성 확산 계수의 연관성은 bivariable correlation analysis로 분석하였으며 p값이

Table 1. A comparison of the S/N ratios and T-scores between the healthy, osteopenia, and osteoporosis group on diffusion-weighted MR images.

Subject group	SNR				T-score			
	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
Health group	2.52±0.15	2.82±0.21	2.45±0.23	2.95±0.17	ND	ND	ND	ND
Osteopenia group	2.43±0.12	2.56±0.19	2.37±0.18	2.72±0.23	-2.02±0.24	-1.83±0.16	-2.14±0.15	-1.62±0.13
Osteoporosis group	2.25±0.13	2.27±0.21	2.15±0.16	2.57±0.14	-3.02±0.24	-2.90±0.18	-3.12±0.21	-2.70±0.16

Numbers are expressed as mean± standard deviation. ND: not detected. Regions of interest were placed over the L1~L4 vertebral bodies. In the qualitative analysis, it was found that for both the osteopenia group and the osteoporosis group, as T-scores decreased, the S/N ratios on diffusion-weighted MR images also decreased, with the greatest decrease in the S/N ratios found in the osteoporosis group. Additionally, among the three groups, the lowest S/N ratio was found in the osteoporosis group ($p < 0.05$).

0.05 미만인 경우를 통계학적 의미가 있는 것으로 정의하였다.

정성적인 분석방법은 2명의 방사선과 1명의 전문의가 육안적으로 T1강조 시상면 영상에서 요추체중(L-spine의 vertebral body) 중 L4 부위에서의 건강한 그룹과 골감소증 및 골다공증그룹의 신호강도 차이를 분석하였고 높음(3점), 중간(2점), 낮음(1점)의 구분을 3점 척도로 실시하여 평균값을 측정 하였으며 kruskal-walls test를 이용하여 평균값을 비교하였다.

결 과

영상의 정량적 분석결과 T-score가 -1~-2.5 S 부위는 요추체중 L1은 18곳, L2는 14곳, L3는 11곳, L4는 16곳이다. T-score가 -2.5 S 보다 작은 부위는 L1은 9곳, L2는 10곳, L3는 14곳, L4는 6곳이다. T-score가 -1 S 보다 큰 부위는 L1은 3곳, L2는 6곳, L3는 5곳, L4는 8곳이다. 즉 골감소증 부위는 59곳, 골다공증 부위는 39곳이고 나머지 22곳은 범위에서 벗어났다. 골감소증그룹(골감소증 부위는 59곳)과 골다공증그룹(골다공증 부위는 39곳)으로 분류하여 측정된 결과 확산강조 영상에서 골감소증, 골다공증, 건강한 그룹의 신호대 잡음비, 건강한 그룹의 L1에서는 2.52±0.15, L2에서는 2.82±0.21, L3에서는 2.45±0.23, L4에서는 2.95±0.17로 나타났다. 골감소증 그룹의 L1은 2.43±0.12, L2는 2.56±0.19, L3는 2.37±0.18, L4는 2.72±0.23로 나타났다. 골다공증 그룹의 L1은 2.25±0.13, L2는 2.27±0.21, L3는 2.15±0.16, L4는 2.57±0.14로 나타났다. 세 그룹에서 L1은 $p=0.025$ (F: 21.93, df: 42), L2는 $p=0.038$ (F: 31.78, df: 36), L3는 $p=0.015$ (F: 29.56, df: 34), L4는 $p=0.021$ (F: 35.27, df: 29)로 통계적으로 의미 있는 변화($p < 0.05$)가 있었다. 골감

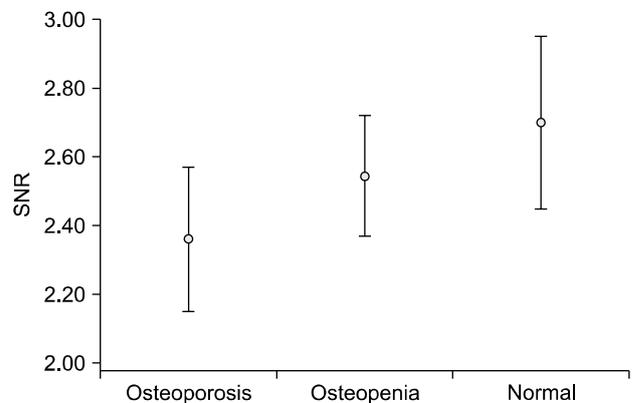


Fig. 3. Graph of diffusion SNR values for normal, osteopenic, and osteoporotic subjects. SNR: signal to noise ratio. Among the three groups, the lowest S/N ratio was found in the osteoporosis group ($p < 0.05$).

소증 그룹의 요추체중 L1에서는 T-score가 -2.02±0.24, L2는 -1.83±0.16, L3는 -2.14±0.15, L4는 -1.62±0.13로 나타났다. 골다공증 그룹의 요추체중 L1는 T-score가 -3.02±0.24, L2는 -2.90±0.18, L3는 -3.12±0.21, L4는 -2.70±0.16로 나타났다(Table 1). T-score와 신호대 잡음비의 상관관계를 분석한 결과 유의확률은 0.029 ($p < 0.05$)으로써 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 즉 건강한 그룹과 골감소증, 골다공증 그룹의 경우 신호대 잡음비는 골다공증 그룹에서 가장 낮게 나타났고(Fig. 3) 골감소증과 골다공증 그룹에서는 T-score가 감소함에 따라 확산강조영상에서의 신호대 잡음비가 감소하여 나타났다.

ADC map영상에서 건강한 그룹의 관심영역 현성 확산계수(mm^2/s)는 L1에서는 $(0.37 \pm 0.024) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L2는 $(0.34 \pm 0.024) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L3는 $(0.31 \pm 0.017) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L4는 $(0.35 \pm 0.027) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 나타났다. 골감소증 그룹의

Table 2. A comparison of the ADC values and T-scores between the healthy, osteopenia, and osteoporosis group on ADC map images.

Subject group	ADC value				T-score			
	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
Health group	0.371±0.024	0.343±0.024	0.319±0.017	0.352±0.027	ND	ND	ND	ND
Osteopenia group	0.323±0.021	0.311±0.019	0.282±0.019	0.289±0.014	-2.02±0.24	-1.83±0.16	-2.14±0.15	-1.62±0.13
Osteoporosis group	0.313±0.024	0.294±0.019	0.265±0.028	0.227±0.017	-2.80±0.24	-2.40±0.18	-3.12±0.21	-2.20±0.16

Numbers are expressed as mean± standard deviation. ND: not detected. Regions of interest were placed over the L1~L4 vertebral bodies. The ADC values are reported in units×10⁻³ mm²/s. With respect to ADC map images, for both the osteopenia group and the osteoporosis group, ADC values were shown to be lower with decreased T-scores. Among the three groups, the group showing the lowest ADC value was found to be the osteoporosis group (p<0.05).

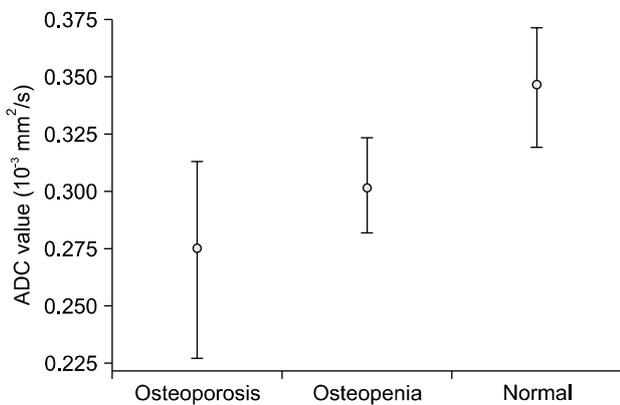


Fig. 4. Graph of diffusion ADC values for normal, osteopenic, and osteoporotic subjects. The ADC values are reported in units×10⁻³ mm²/s. Among the three groups, the lowest ADC value was found in the osteoporosis group (p<0.05).

Table 3. A comparison of the signal intensity between the healthy, osteopenia, and osteoporosis group on T1 weighted images (3: high 2: middle 1: lower).

Subject group	Experts			
	RD	RT	RT	Average
Health group	1.53±0.34	1.67±0.42	1.49±0.39	1.56±0.40
Osteopenia group	2.31±0.51	2.24±0.64	2.38±0.53	2.31±0.56
Osteoporosis group	2.52±0.51	2.67±0.56	2.72±0.54	2.63±0.53

Numbers are expressed as mean± standard deviation. RD: radiologist, RT: radiotechnologist. Among the three groups, the group showing the lowest signal intensity was found to be the health group (p<0.05).



Fig. 5. T1-weighted sagittal images for each of the healthy, osteopenia, and osteoporosis groups. The qualitative analysis, the osteoporosis group showed the highest signal intensity with the healthy group the lowest among the three groups. (a) Healthy person, (b) osteopenia person, (c) osteoporosis person.

관심영역의 현성 확산 계수는 L1에서는 $(0.32 \pm 0.021) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L2는 $(0.31 \pm 0.019) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L3는 $(0.28 \pm 0.019) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L4는 $(0.28 \pm 0.014) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 나타났다. 골다공증 그룹의 관심영역의 현성 확산 계수는 L1에서는 $(0.31 \pm 0.024) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L2는 $(0.29 \pm 0.019) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L3는 $(0.26 \pm 0.028) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, L4에서는 $(0.22 \pm 0.017) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 나타났다(Table 2). 세 그룹에서 L1은 $p=0.031$ (F: 12.93, df: 21), L2는 $p=0.018$ (F: 18.25, df: 28), L3는 $p=0.026$ (F: 28.37, df: 16), L4는 $p=0.034$ (F: 17.68, df: 31)로 통계적으로 의미 있는 변화($p < 0.05$)가 있었다. T-score와 현성 확산 계수의 상관관계를 분석한 결과 유의확률은 0.031 ($p < 0.05$)으로써 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 즉 건강한 그룹과 골감소증 및 골다공증 그룹의 경우 현성 확산 계수 차이는 골다공증 그룹에서 현성 확산 계수가 가장 낮게 나타났고(Fig. 4) T-score가 감소함에 따라 현성 확산 계수는 감소해서 나타났다. 결론적으로 T-score가 감소함에 따라 신호대 잡음비와 현성 확산 계수가 감소하여 나타났다.

정성적 분석 결과 건강한 그룹의 경우 1.56 ± 0.40 , 골감소증 그룹의 경우 2.31 ± 0.56 , 골다공증 그룹의 경우 2.63 ± 0.53 로 나타났으며 유의확률은 0.043 ($p < 0.05$)으로써 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3). 즉 건강한 그룹과 골감소증, 골다공증 그룹에서 L4 부위의 신호강도는 건강한 그룹에서 가장 낮게 나타났고 골다공증 그룹에서 높게 나타났다(Fig. 5).

고찰 및 결론

골밀도 검사 수치는 골다공증 진단에 가장 유용한 지표로 간주되고 있으며 세계보건기구에서 제시한 골밀도의 상대평가치인 T-score는 임상에서 골다공증 진단에 유일한 척도로 이용되고 있다. 즉 젊은 성인군의 2.5 표준편차 이하의 골밀도를 골다공증이라 하였고, 골밀도가 젊은 성인군의 평균치와 비교하여 -1과 -2.5 표준편차 사이를 골감소증(osteopenia) 혹은 낮은 골량(low bone mass)으로 분류하였다.⁶⁾ 그러나 세계보건기구에서 제시한 수치는 요추체중 L1~L4 각각의 수치에 대해서 전체를 평균화한 수치로 연구 과정에서 골감소증 그룹과 골다공증 그룹으로 분류하는데 있어서는 오류가 예상되어 본 연구에서는 L1~L4 각각의 수치에 대해서 질환을 분류 하였다. 실제 연구에서 30명의 환자를 대상으로 T-score를 측정 한 결과 세계보건기구에서 제시한 골밀도의 평가치에서는 17명이 골감소증, 13명

에서는 골다공증을 보였다. 그러나 17명의 골감소증 환자 중에서도 10명이 해부학적으로 다른 부위에서는 골다공증이 정상치로 보였고 13명의 골다공증 환자에서는 7명이 골감소증을 보였다.

본 연구에서 T-score가 감소함에 따라 확산강조영상에서는 신호대 잡음비와 현성 확산 계수가 감소하여 나타났으며 이는 지방 골수의 증가로 세포의 공간이 좁아져서 수분의 확산이 감소된 원인으로 사료된다. Licata¹⁹⁾는 골다공증은 골량의 감소와 미세구조의 이상을 특징을 보이는 질환으로 정의 하고 있고, Yeung 등²⁰⁾은 골량의 감소가 생긴 부위에는 지방 세포가 축적 된다고 하였다. Clifford 등²¹⁾은 골다공증 환자에 있어서 골수의 구성은 지방세포가 축적되고 파골세포의 활동성 증가 및 조골세포의 기능이 감소하게 되며 골다공증이 진행 될수록 골수의 지방 과다증을 일으킨다고 보고하고 있다. Nonomura 등²²⁾은 골수에는 적골수와 황골수가 있는데, 적골수는 많은 혈관을 보호해주는 약간의 결합조직으로 조혈작용을 하며 황골수는 많은 혈관과 세포들을 지니는데 적골수의 조혈작용이 중지되어 주로 지방으로 대체된 상태의 골수이고 이 황골수는 확산에 가장 민감하다고 보고하고 있다. 즉 위 저자들의 연구 결과에 의하면 골다공증은 골량의 감소가 생기고 감소된 부위에는 지방 세포가 채워져 세포의 공간이 좁아져서 수분 확산이 감소되는 질환으로 요약 할 수 있으며 이는 본 연구결과와 일치하는 자료라 생각된다. 척추 질환을 대상으로 한 연구에서 Ward 등²³⁾은 외상에 의해 척추압박골절이 발생한 환자인 경우 확산강조영상에서 신호강도가 감소하였으며 이는 지방 골수와 관련 있다고 보고하고 있다. 본 연구에서는 골다공증 환자를 대상으로 하였으며 골다공증 환자인 경우에는 신호강도가 감소하여 나타났다. Lasbleiz 등²⁴⁾은 척추에 악성종양이 발생한 환자인 경우에서 ADC map 영상에서 현성확산계수가 감소한다고 보고하였고 본 연구에서는 골다공증 환자의 경우 ADC map 영상에서 현성확산계수가 감소하였다. 정성적 분석에서 T1 강조 시상면 영상에서 골다공증 그룹에서 신호강도가 증가하였는데 이는 지방 골수의 증가로 신호강도가 변한 것으로 사료 된다.

본 연구에는 몇 가지 문제점을 가지고 있는데, 첫째로, Kim 등²⁵⁾은 성별, 신장, 체중 등은 골밀도 측정치에 미치는 영향 인자로 보고하고 있으나 본 연구 대상에서는 성별, 체중, 신장 등 골밀도 검사에 미치는 영향을 고려하지 않아 정확한 T-score를 측정하는데 어려움이 있다. 둘째로는, 건강한 그룹을 대상으로는 T-score를 측정 하지 않아 건강한 그룹에서 T-score에 변화에 따른 확산강조영상의 신호대 잡

음비를 비교 분석하는데 있어서 문제점이 있었다. 셋째로는, 건강한 그룹과 골다공증 그룹의 나이 차이로 인해 동일 조건으로 데이터를 측정하는데 큰 문제점이 있었다. 넷째로는, T1 강조 시상면 영상에서는 육안적으로만 신호강도의 변화를 측정 하였지만 정량적으로 분석하면 신호강도의 차이가 클 것으로 사료되어 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다.

결론적으로 T-score가 감소함에 따라 확산강조영상에서의 신호대 잡음비와 현성 확산 계수가 감소하였고 T1 강조 영상에서는 신호 강도가 증가하였다. 즉 골다공증이 진행 될수록 신호대 잡음비와 현성 확산계수는 감소하고 T1 강조 영상에서는 신호 강도가 증가 하는 결과를 얻었다. 본 저자는 연구 결과를 통해서 자기공명검사가 골다공증 진단에 유용함을 알 수 있었고 다른 검사와 병행해서 시행한다면 보다 정확한 진단을 내릴 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Riggs BL, Melton LJ: Involutional osteoporosis. N J Med 314:1676-1686 (1986)
2. Ahn MH, Park DK, Lee DC, et al: 연령증가에 따른 골밀도 변화에 영향을 주는 요인에 대한 탐구적 연구. 대한정형외과학회지 28:2369-2379 (1993)
3. Kwon DJ, Yoo YO, Kim JH, et al: 정상 한국 여성의 폐경 전, 후 요추 골밀도 변화. 대한산부인과학회지 37:2395-2399 (1994)
4. Kanis JA: Osteoporosis and osteopenia. J Bone Miner Res 5:209-211 (1990)
5. Kanis JA, Melton LJ, Christiansen C, et al: The diagnosis of osteoporosis. J Bone Miner Res 9:1137-1141 (1994)
6. Kanis JA: Assessment of fracture risk and its application to screening for post menopausal osteoporosis synopsis of a WHO report. WHO Study Group Int 4:368-381 (1994)
7. Park JS, Joo YS, Choi YS, et al: Frequency of vertebral compression fractures in spinal osteoarthritis patients in relation to bone mineral density. 대한류마티스학회지 10:45-52 (2003)
8. Kim YI, Park JH, Lee JS, et al: Prevalence and risk factors of the osteoporosis of perimenopausal women in the community population. Korean J Med 62:11-24 (2002)
9. Yoon HK, Kim SW, Yim CH, et al: Metabolic characteristics and prevalence of osteoporosis among women in Tae-An area. J Korean Med Sci 16:323-327 (2001)
10. Kim CH, Kim YI, Choi CS, et al: Prevalence and risk factors of low quantitative ultrasound values of calcaneus in Korean elderly women. Ultrasound and Med Biol 26:35-40 (2000)
11. Lemke DM: Vertebroplasty and kyphoplasty for treatment of painful osteoporotic compression fractures. J Am Acad Nurse Pract 17:268-276 (2005)
12. Liang C, Gao D: Instrumentation and Techniques in Bone Density Measurement. East China University of Science and Technology 1:1-10 (2002)
13. Bone JM: Dual-energy mammography a detector analysis. Med Phys 17:665-675 (1990)
14. Lenchik L, Leib ES, Hamdy RC, et al: Executive summary international society for clinical densitometry position development conference. J Clin Densitom 5:S1-3 (2002)
15. Moon JS, Won KC: The Diagnosis and Treatment of Osteoporosis. Yeungnam Univ J of Med 25:19-30 (2008)
16. Kim KJ: 토끼 골격근 손상의 자기공명영상: 확산강조영상과 T2강조영상의 비교. 대한방사선의학회지 42:175-179 (2000)
17. Chien D, Kwong KK, Gress DR, et al: MR diffusion imaging of cerebral infarction in humans. AJNR 13:1097-1102 (1992)
18. Hamdy RC, Petak SM, Lenchik L: Which central dual X-ray absorptiometry skeletal sites and regions of interest should be used to determine the diagnosis of osteoporosis? J Clin Densitom 5:S11-17 (2002)
19. Licata A: Bone density vs bone quality: what's a clinician to do? Cleve Clin J Med 76:331-336 (2009)
20. Yeung DK, Wong SY, Griffith JF, et al: Bone marrow diffusion in osteoporosis: evaluation with quantitative MR diffusion imaging. J Magn Reson Imaging 19:222-228 (2004)
21. Clifford JR, Mary LB: Mechanism of Disease: is osteoporosis the obesity of bone? Nature Clin Pract Rheu 2:35-43 (2006)
22. Nonomura Y, Yasumoto M, Yoshimura R, et al: Relationship between bone marrow cellularity and apparent diffusion coefficient. J Magn Reson Imaging 13:757-760 (2001)
23. Ward R, Caruthers S, Yablon C, et al: Analysis of diffusion changes in posttraumatic bone marrow using navigator-corrected diffusion gradients. AJR Am J Roentgenol 174:731 (2000)
24. Lasbleiz J, Askri A, Le Duff F, et al: Diffusion weighted MRI of spine tumors. J Radiol 3:291-298 (2006)
25. Kim CJ, Lee EJ, Kim HM, et al: Relationship between body composition and metabolic bone disease in Korean male adults. 대한골대사학회지 15:120-132 (2008)

Assessment of Osteoporosis Based on Changes in SNR and ADC Values on MR Diffusion Weighted Images

Jae-Hwan Cho, Yeong-Soo Kim

Department of Radiology, Soonchunhyang University, Bucheon Hospital, Bucheon, Korea

This study tested how S/N (Signal to Noise Ratio) ratios and ADC (apparent diffusion coefficient) values vary with different T-scores in a group of patients with osteoporosis. Based on DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) T-scores for L1-L4 for two groups of subjects consisting of 30 healthy people without osteoporosis and 30 patients who came for treatment of waist (lumbar or low back) pain and were suspected to have osteoporosis as judged from the simple X-ray findings, this study classified every spine into two groups of osteoporosis and osteopenia. Signal intensity measurements were made in the four regions of L1 to L4 on diffusion-weighted MR images obtained using 1.5T MR scanner, while ADC measurements were obtained from ADC map images. As an approach for quantitative analysis, the comparison of the variances in S/N ratios and ADC values for varying T-scores in the selected regions of interest was carried out based on averaged T-scores, S/N ratios, and ADC values. Also, the variances in S/N ratios and ADC values for each of the groups of osteoporosis and osteopenia, which were classified into by T-scores, were compared. For qualitative analysis, a careful naked eye examination of signal intensity differences in the area of L4 was made on T1-weighted sagittal images for each of the healthy (normal), osteopenia, and osteoporosis groups. In the qualitative analysis, it was found that for both the osteopenia group and the osteoporosis group, as T-scores decreased, the S/N ratios on diffusion-weighted MR images also decreased, with the greatest decrease in the S/N ratio found in the osteoporosis group. Additionally, among the three groups, the lowest S/N ratio was found in the osteoporosis group. With respect to ADC map, it was found that for both the osteopenia group and the osteoporosis group, as T-scores decreased, the ADC values on diffusion-weighted MR images also decreased, with the greatest decrease in the ADC values found in the osteoporosis group. Additionally, among the three groups, the lowest ADC value was found in the osteoporosis group. On the other hand, in the qualitative analysis, the osteoporosis group showed the highest signal intensity. Additionally, among the three groups, the lowest signal intensity was found in the healthy (normal) group. It was found that as osteoporosis progressed, S/N ratio and ADC decreased, whereas signal intensity increased on T1-weighted images. Also, in diagnosing osteoporosis, MRI tests turned out to be (more) effective.

Key Words: Osteoporosis, T-score, Diffusion-weighted image, Signal to noise ratio (SNR), Apparent diffusion coefficient (ADC)