

CT number 및 척추원반 높이를 이용한 퇴행성 척추원반 질환 진단의 유용성

박태수^{1,2}, 윤 식¹

¹부산대학교 의과대학 해부학교실, ²대구우리들병원 영상의학과

Diagnostic Usefulness of Degenerative Disc Disease Using the CT Number and Disc Height

Tai-Soo Park^{1,2}, Sik Yoon¹

¹Department of Anatomy, College of Medicine, Pusan National University

²Department of Radiology, Daegu Wooridul Spine Hospital

Abstract : This study aimed to determine the prevalence of each grade of degenerative disc disease (DDD) and to measure the height and computed tomography (CT) numbers of intervertebral discs in affected regions. A total of 412 patients (221 males and 191 females) who underwent magnetic resonance imaging (MRI) for back pain were included in the study. DDD grades were classified, and disc heights were measured using three images from the lumbosacral region. The CT number, measured in Hounsfield unit (HU), for DDD was obtained using CT scans. The average age of the subjects was 49.47 years. In the disc between the 3rd and 4th lumbar vertebrae, no significant difference in degenerative grades was found between genders. However, in the disc between the 4th and 5th vertebrae, grade 3 was observed in 21.47% of male subjects, while grade 4 was found in 24.3% of female subjects ($p < 0.001$). Additionally, in the disc between the 5th lumbar vertebra and the 1st sacral vertebra, grade 4 was the most common degenerative grade in both males (98 cases, 23.8%) and females (113 cases, 27.4%), with a significant difference between genders ($p < 0.05$). Regarding intervertebral disc height, discs in grade 1 measured 10.71 ± 1.47 mm, those in grade 2 measured 9.95 ± 1.35 mm, in grade 3 measured 9.65 ± 1.62 mm, in grade 4 measured 8.70 ± 1.74 mm, and in grade 5 measured 6.52 ± 1.89 mm. This shows a trend of decreasing disc height as the degeneration grade increased ($p < 0.001$). Furthermore, the CT numbers according to the degenerative grade were 57.34 ± 4.66 HU in grade 1, 67.64 ± 3.97 HU in grade 2, 75.75 ± 3.90 HU in grade 3, 86.51 ± 6.14 HU in grade 4, and 112.48 ± 10.89 HU in grade 5, all showing significant differences ($p < 0.001$). Based on the results of this study, disc height and CT numbers (HU) could be clinically useful indicators for assessing the degree of DDD in Koreans.

Keywords : Degenerative disc disease, Degeneration grade, Magnetic resonance imaging, CT number, HU

*이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: August 23, 2024; **Revised:** September 25, 2024;

Accepted: September 25, 2024

Correspondence to: 윤 식 (부산대학교 의과대학 해부학교실)

E-mail: sikyoon@pusan.ac.kr

서론

허리통증은 평균 수명의 상승으로 인해 전 인구의 65~80%가 일생에 한 번 이상 경험하며, 역학적 조사에 따르면 연간 발생률이 10~30%로 알려져 있다. 또한 신경학적 증상

이 없는 일반인도 자기공명영상검사에서 25~40%가 척추원반의 퇴행성 변화를 보인다고 한다[1,2]. 이러한 허리통증은 고령화된 사회에서 흔한 질환이며, 사회경제적 부담이 매우 높고 앞으로 수십 년 동안 더욱 증가할 것으로 예상된다[3,4].

허리통증의 원인은 척추와 그 주위의 다양한 구조물에서 발생하는 변화뿐만 아니라 심리적 요인 등 매우 다양하다. 일반적으로 불안정한 자세가 지속되거나 노동 중 무리한 힘이 허리엉치부위에 반복적으로 가해지면, 척추몸통을 지지하는 인대와 근육이 수축, 긴장 및 손상되며 통증이 발생한다[5]. 이러한 통증의 치료와 허리 주위 근육의 안정화 운동이 적절히 이루어지지 않으면, 허리엉치부위 척추원반에 무리한 응력(stress)이 가해져 섬유테(annulus fibrosus) 파열, 척추끝판(vertebral endplate) 골절 및 척추원반탈출증 등이 발생하게 된다[6].

척추원반에서 발생하는 허리통증의 원인은 크게 척추원반의 퇴행성 변화에 의한 기전과 척추원반의 탈출에 의한 기전으로 나눌 수 있다. 척추원반의 퇴행성 변화는 부분적으로 프로테오글리칸 농도의 변화 및 점차적인 당단백질과 2형 콜라겐의 감소에 따른 속질핵의 수분함량 감소에 기인한다[7,8]. 결과적으로 이러한 변화는 척추돌기사이관절 및 척추몸통에 전반적인 퇴행성 변화를 일으킨다[9]. 결국 척추원반의 퇴행성 변화는 신경뿌리를 압박하는 원인이 되기도 한다.

오늘날 이러한 허리통증의 원인을 찾기 위한 여러 진단 방법이 있다. 그중에서도 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)은 비침습적이며 물렁조직의 대조도가 뛰어나 척추의 다양한 해부학적 구조물에 대한 우수한 시상면과 가로면의 영상을 제공하므로 속질핵의 모양을 잘 관찰할 수 있다[10,11]. 또한, T2 강조영상에서 속질핵 내 수분함량 감소에 따른 영상 신호 감도가 민감하여 척추원반 내부의 퇴행성을 진단하는 데 가장 많이 이용되고 있다[12]. 자기공명영상은 강력한 자기장과 전자파를 이용해 영상을 얻는 검사 장치이다. 그러나 인공심장박동기, 뇌동맥 클립, 인슐린 펌프 및 신경 자극기와 같은 금속 물질이 체내에 있는 경우, 강력한 자기장의 영향으로 금속이 이동하거나 열이 발생해 심각한 부작용이 발생할 수 있어 모든 사람이 MRI 검사를 안전하게 받을 수 있는 것은 아니다. 또한, 높은 검사 비용, 비교적 긴 검사 시간, 그리고 폐쇄된 공간에 대한 공포증이 있는 경우도 MRI 검사의 제한 요소로 알려져 있다. 반면, 금속 물질에 대한 제한이 적고 짧은 검사 시간과 낮은 비용으로 영상을 얻을 수 있는 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)을 이용한 척추원반의 퇴행 정도 측정에 관한 연구는 아직 이루어지지 않았다. 컴퓨터단층촬영 영상의 각 픽셀은 CT number로 지정된다. CT number는 해당 절편을 이루고 있는 조직의 선형감쇠계수(linear attenuation coefficient)와 관련이

있으며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$CT\ number = \frac{\mu_t - \mu_w}{\mu_w} \cdot K$$

여기서 μ_t 는 측정된 조직의 감쇠계수이고, μ_w 는 물의 감쇠계수이며, K는 확대상수이다. K를 1,000으로 계산하여 획득한 CT number를 하운스필드 단위(hounsfield unit, HU)라고 부르며, CT number는 물의 감쇠를 참조하여 상대적으로 설정된 것이다. 물의 CT number는 항상 0인 반면 뼈의 평균과 공기는 각각 +1,000과 -1,000으로 정의되며, 각 조직별 다른 값을 가진다. 이처럼 CT number는 컴퓨터단층촬영 영상을 정량적으로 분석하여 질병을 진단하고 치료하는 데 필수적인 정보를 제공한다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터단층촬영을 통해 정상 척추원반과 퇴행성 척추원반의 생체 측정 자료를 제공하고, CT number를 이용하여 퇴행성 척추원반 질환 진단의 유용성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

CT number를 이용한 퇴행성 척추원반 질환(degenerative disc disease, DDD) 진단의 유용성에 관한 연구 대상자의 산출을 위해 표본 크기 산출프로그램인 G-power (version 3.1.9.4; Kiel University, Kiel, Germany) 프로그램을 이용하여 독립표본 t-검증(independent sample t-test)으로 설정하고, 효과크기(d) 0.29653, 유의수준(α) 0.05, 검정력($1-\beta$) 0.85의 조건 하에서 최소 표본 크기인 412명을 산출하였다. 또한 연구 도중에 개인 사정으로 탈락하는 대상자를 제외하기 위해 탈락률 15%를 고려하여 474명의 연구 대상자를 선별하였다.

다음으로 2019년 2월 1일부터 2020년 2월 29일 사이에 우리들병원 영상의학센터에서, 허리통증으로 허리엉치부위 자기공명영상을 촬영한 474명(남자 258명, 여자 216명)의 영상을 분석하여 척추원반의 형태 변형을 유발할 수 있는 염증성 척추원반, 인공 척추원반 치환술, 압박골절 등을 제외한 412명(남자 221명, 여자 191명)을 대상으로 허리엉치부위 세 곳의 영상을 이용하여 퇴행성 척추원반의 등급 분류 및 높이를 측정하였고, 또한 컴퓨터단층촬영으로 퇴행성 척추원반의 CT number를 측정하였다. 연령 분포는 20세에서 88세였고 평균 연령은 49.47세였다. 본 연구에서 환자의 동의는 후향적 연구로 면제되었고, 기관윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인(IRB No. 2020-01-WSH-002)을 얻은 후 진행되었다.

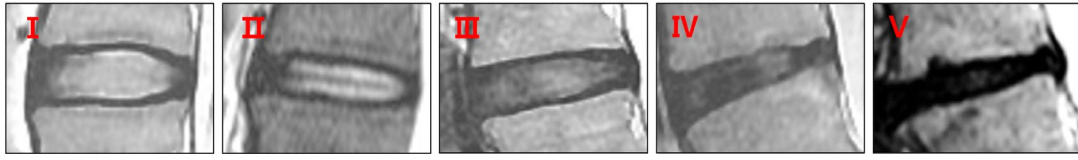


Fig. 1. Assessment of disc degeneration using the five-grade scale of Thompson. Grade I: Homogenous bright. Grade II: Horizontal dark band. Grade III: Gray tone with dark stippling. Grade IV: Almost dark tone with bright stippling. Grade V: Total darkness or gross loss of disc height.

2. 자기공명영상 프로토콜

자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)에서 물성분은 고신호 강도로 관찰되며, 척추원반의 구별이 분명한 티보스핀에코 T2 강조영상 기법을 사용하여 시상면 영상을 얻었다. Philips MRI (Achieva 1.5T; Philips, Eindhoven, Netherlands)의 시상면 T2 강조영상은 TR 3670 msec, TE 120 msec로 하였고, GEHC MRI (Explorer 1.5T; General Electric Health Care, Waukesha, WI, USA)는 TR 2880 msec, TE 117 msec로 설정하였다. 또한 영상의 절편 두께는 두 장비 모두 4 mm로 동일하게 하여 영상을 획득하였다.

3. 컴퓨터단층촬영장치 프로토콜

본 연구에 사용된 컴퓨터단층촬영장치(computed tomography, CT)인 Philips CT (Brilliance 16; Philips, Eindhoven, Netherlands)는 다음 매개변수를 사용하여 영상을 획득하였다. 관심 영역은 200 mm 시야(field of view, FOV)로 하였고, 피치는 0.438, 1회전 시간은 0.75초로 설정하였다. 단면 두께는 2 mm, 절편 간격은 -1.0 mm, 매트릭스는 512, 복셀은 등방성으로 설정하였고, 3D 볼륨 데이터 획득을 위해 나선형 스캔으로 하였다. 그리고 관전압은 120 kV로, 관전류는 자동 노출제어장치를 이용하여 설정하였다.

4. 퇴행성 척추원반의 CT number 확인 및 계측 방법

척추원반의 퇴행성 변화는 자기공명영상(T2 강조영상)을 이용하였으며, Thompson 등[13]의 분류에 따라 5등급으로 나누어 조사하였다. I등급은 척추원반이 균일하게 하얗게 보이는 경우, II등급은 평행한 검은 선이 관찰되는 경우, III등급은 검은 점이 동반한 회색으로 보이는 경우, IV등급은 전반적으로 검은 상태에서 흰 점이 관찰되는 경우, V등급은 척추원반의 높이가 현저하게 감소하거나 척추원반 전체가 검게 색이 변한 경우로 나누었다(Fig. 1).

일반적으로 척추원반 높이의 계측은 Hong 등[14]이 정의한 척추원반의 배쪽 및 등쪽 경계를 기준으로 앞쪽과 뒤쪽의 척추원반 높이를 측정한다. 하지만 본 연구에서는 이에 더해 위, 아래 척추끝판에 평행한 선을 그어 척추원반의 중앙

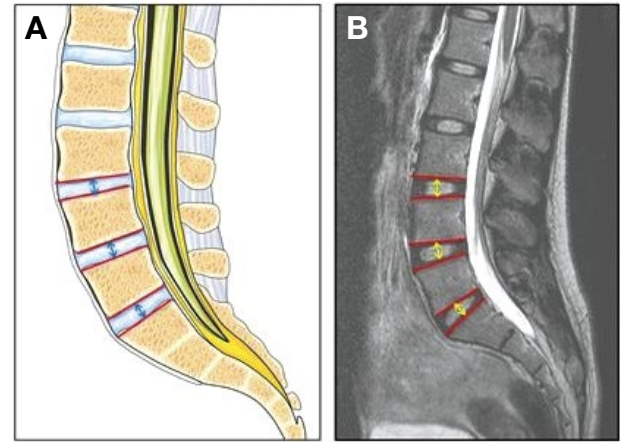


Fig. 2. (A) Schematic illustration of the measurement methods used in this study. (B) Measurement of the mid-height of the spinal disc by drawing a line parallel to the upper and lower vertebral endplates. A color version of this figure is available in the online journal.

높이를 측정하였다(Fig. 2). 척추원반의 퇴행성 등급에 따른 CT number의 계측을 위해 시상면 영상에서 척추원반 세 곳을 확인한 후, 척추원반의 중앙을 가장 가깝게 지나는 가로면 영상을, 허리 굽이에 따라 다평면 재구성(multi-planar reformation, MPR) 방법을 이용하여 획득하였다(Fig. 3). 획득된 가로면 영상에서 척추원반의 중앙에 직경이 10 mm인 ROI calculator를 이용하여 CT number를 계측하였다(Fig. 4). 척추원반의 높이와 등급에 따른 CT number의 계측은 영상의 확대 및 측정값의 수치 보정이 가능하고, 재현성과 정확도가 높으며 사용하기 쉬운 PACS (picture archiving communication system, G2, INFINTT Healthcare, Seoul, Korea)를 사용하였다[15].

5. 통계학적 분석

연구자의 계측 오류를 줄이기 위해서 각 연구 대상자당 계측을 세 번씩 하여 평균값을 사용하였으며, 관찰자 내 신뢰도 분석을 위해 척도 신뢰도 분석(scale reliability analysis)의 급내 상관계수(intraclass correlation coefficient)를 활용한 신뢰도 분석을 시행하였다. 그 결과, 척추원반의 CT number

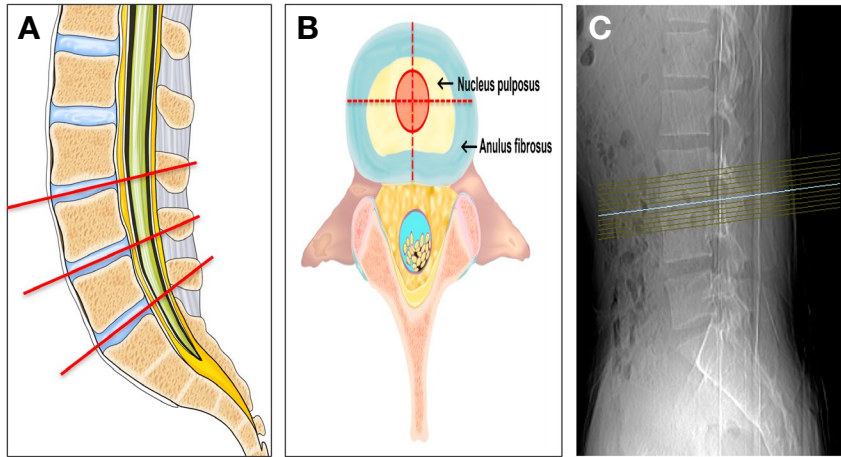


Fig. 3. Schematic illustration of the measurement methods used in this study. (A) CT numbers were measured on transverse plane images closest to the center of the intervertebral disc in the sagittal plane (Red lines indicate reference lines for the transverse plane images). (B) Cross section of the measurement location (Red circle marks the center of measurement). (C) Captured image show the positions of multi-plane reconstructions based on the lumbar curvature. A color version of this figure is available in the online journal.

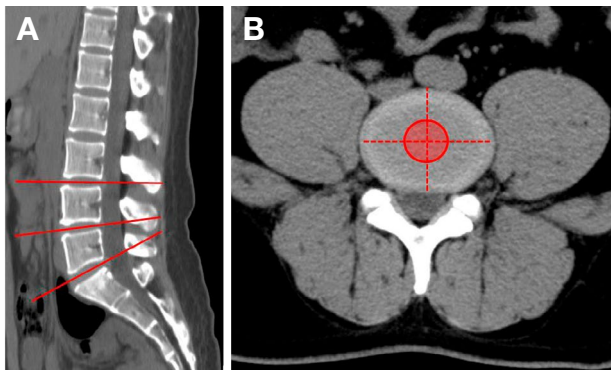


Fig. 4. (A) CT numbers were measured from transverse plane images obtained at three lumbosacral intervertebral disc levels in the sagittal image (Red lines indicate reference lines for the transverse plane images). (B) Axial CT image of the lumbar spine. The CT number was measured using the free-line region of interest (ROI) calculator in the INFINITT PACS system, as shown by the red circle on the image (circle diameter: 10 mm). A color version of this figure is available in the online journal.

계측값은 위쪽에서 아래쪽으로 각각 97.41%, 96.6%, 96.4%로 일치하였고, 척추원반의 높이 계측값도 각각 98.2%, 96.6%, 98.9%로 일치하여 모든 계측값은 통계적으로 유의하였다($p < 0.001$).

다음으로 계측 자료 분석을 위해 성별에 대한 퇴행성 등급 비교는 교차분석의 카이제곱 검정(chi-square test)을 사용하였고, 퇴행성 등급과 CT number 그리고 척추원반 높이 분석은 일원배치 분산분석(one way analysis of variance, ANOVA)을 사용하였다. 더불어 각 계측값의 상관성은 피어

슨 상관계수 분석(Pearson's correlation coefficient)을 통해 확인하였으며, 통계 분석에는 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, version 22, IBM, Armonk, NY, USA)를 이용하였으며, 유의수준은 0.05를 기준으로 하였다.

결 과

1. 성별에 따른 퇴행성 등급

연구 대상자 412명 중에서 셋째허리뼈-넷째허리뼈(L3-L4) 사이의 퇴행성 등급에서 남자는 2등급이 88명(21.47%), 여자는 3등급이 76명(18.4%)으로 가장 높은 빈도를 보였으나, 성별에 따른 유의한 연관성은 나타나지 않았다. 다음으로 넷째허리뼈-다섯째허리뼈(L4-L5) 사이에서 남자는 3등급이 88명(21.47%), 여자는 4등급이 100명(24.3%)으로 높은 빈도를 보였으며, 성별에 따른 퇴행성 등급에서도 유의한 차이가 나타났다($p < 0.001$). 또한 다섯째허리뼈-첫째엉치뼈(L5-S1) 사이에서는 4등급이 남자 98명(23.8%), 여자 113명(27.4%)으로 가장 높은 빈도를 보였고, 성별에 따른 퇴행성 등급에서도 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$, Table 1).

2. 퇴행성 등급별 CT number

척추원반의 퇴행성 등급에 따른 CT number 계측 결과, 1등급은 57.34 ± 4.66 HU, 2등급은 67.64 ± 3.97 HU, 3등급은 75.75 ± 3.90 HU로 나타났고, 4등급은 86.51 ± 6.14 HU, 마지막으로 5등급은 112.48 ± 10.89 HU로 나타나 등급이 높아

Table 1. Analysis of the frequency of disc degeneration grades by gender

	Gender	Grades of disc degeneration					Total	p-value
		I	II	III	IV	V		
L3-L4	Male	17	88	81	34	1	221	0.083
	Female	14	55	76	45	1	191	
L4-L5	Male	15	49	88	65	4	221	0.000***
	Female	7	22	58	100	4	191	
L5-S1	Male	6	26	79	98	12	221	0.017*
	Female	9	19	42	113	13	191	

The data were analyzed by a chi-square test. *p<0.05 and ***p<0.001.

Table 2. Comparison of CT numbers across degenerative disc grades

Grade	N	CT number (HU [†])			F	Scheffe
		Mean ± SD	Minimum	Maximum		
I (a)	63	57.34 ± 4.66	43.94	66.42	1221.475***	a < b < c < d < e
II (b)	259	67.64 ± 3.97	58.33	79.78		
III (c)	424	75.75 ± 3.90	61.15	89.54		
IV (d)	455	86.51 ± 6.14	69.24	112.69		
V (e)	35	112.48 ± 10.89	92.88	136.20		

[†]HU: hounsfield units

The data were analyzed by one way ANOVA. ***p<0.001.

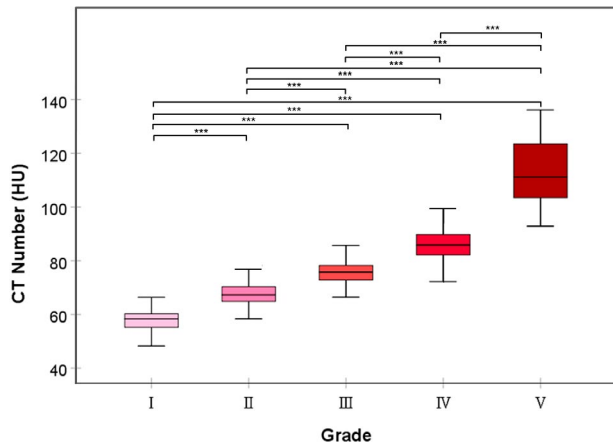


Fig. 5. Comparison of CT numbers across degenerative disc grade, showing that CT numbers increase with a higher grade. Data were analyzed using one-way ANOVA. A color version of this figure is available in the online journal.

짐에 따라 CT number도 유의하게 증가하는 경향을 보였다 (p<0.001, Table 2, Fig. 5).

3. 퇴행성 등급별 척추원반 높이

척추원반의 퇴행성 등급에 따른 척추원반의 높이 측정 결과, 1등급은 10.71 ± 1.47 mm, 2등급은 9.95 ± 1.35 mm, 3등급은 9.65 ± 1.62 mm로 나타났고, 4등급은 8.70 ± 1.74 mm, 마지막으로 5등급은 6.52 ± 1.89 mm로 나타났다(p<0.001). 따라서 등급이 높아짐에 따라 척추원반의 높이가 유의하게 낮아지는 경향을 보였다(Table 3, Fig. 6).

4. 퇴행성 등급별 연령

퇴행성 등급별 연령 분포는 1등급이 37.30 ± 16.48세, 2등급이 38.69 ± 15.11세, 3등급이 46.63 ± 14.80세로 나타났고, 4등급은 48.48 ± 14.36세, 5등급은 52.57 ± 12.44세로 나타나 연령의 증가에 따라 등급이 유의하게 높아지는 경향을 보였다(p<0.001, Table 4, Fig. 7).

5. 퇴행성 등급과 CT number와 척추원반 높이의 상관관계

퇴행성 등급과 척추원반 높이의 상관계수는 -0.934, 척추

Table 3. Disc height comparison by degenerative disc grades

Grade	N	Height (mm)			F	Scheffe
		Mean ± SD	Minimum	Maximum		
I (a)	63	10.71 ± 1.47	7.69	13.46	68.403***	a > b, c > d > e
II (b)	259	9.95 ± 1.35	6.70	14.27		
III (c)	424	9.65 ± 1.62	5.63	14.71		
IV (d)	455	8.70 ± 1.74	4.37	13.65		
V (e)	35	6.52 ± 1.89	3.33	12.86		

The data were analyzed by one way ANOVA. ***p < 0.001.

Table 4. Comparison of degenerative disc grades by age

Grade	N	Age (years)			F	Scheffe
		Mean ± SD	Minimum	Maximum		
I (a)	63	37.30 ± 16.48	20	72	25.968***	a, b < c, d, e
II (b)	259	38.69 ± 15.11	20	79		
III (c)	424	46.63 ± 14.80	20	88		
IV (d)	455	48.48 ± 14.36	21	85		
V (e)	35	52.57 ± 12.44	26	78		

The data were analyzed by one way ANOVA. ***p < 0.001.

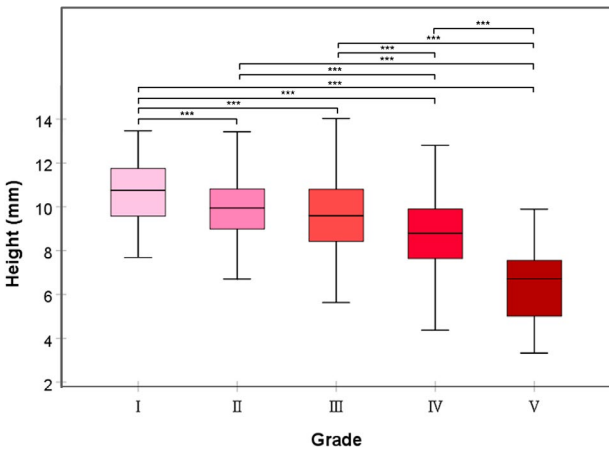


Fig. 6. Comparison of the intervertebral disc height across to degenerative disc grades, showing that disc height decreases as the grade increases. Data were analyzed using one-way ANOVA. A color version of this figure is available in the online journal.

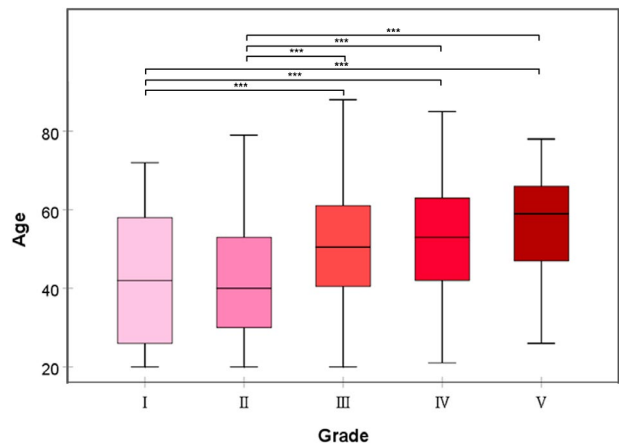


Fig. 7. Comparison of degenerative disc grades by age, showing that age increases with higher grade. Data were analyzed using one-way ANOVA. A color version of this figure is available in the online journal.

원반 높이와 CT number의 상관계수는 -0.414, 퇴행성 등급과 CT number의 상관계수는 0.863으로 나타났다. 따라서 퇴행성 등급과 척추원반 높이, 그리고 척추원반 높이와 CT number는 유의한 음의 상관관계를 보였으며, 퇴행성 등급과 CT number의 상관계수는 유의한 양의 상관관계를 보였다 (p < 0.001, Table 5, Fig. 8).

6. 연령과 CT number와 척추원반 높이의 상관관계

퇴행성 등급을 제외한, 연령과 척추원반 높이의 상관계수는 0.038로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 하지만 연령과 CT number의 상관계수는 0.417로 유의한 차이를 나타냈다 (p < 0.001, Table 6, Fig. 9).

Table 5. Pearson’s correlation coefficient analysis of disk height, CT number, and degenerative disc grades

Variables	Pearson’s correlation	p-value
Disc Height : Grade	-0.934*	
Disc Height : CT number	-0.414*	0.000
CT number : Grade	0.863*	

*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

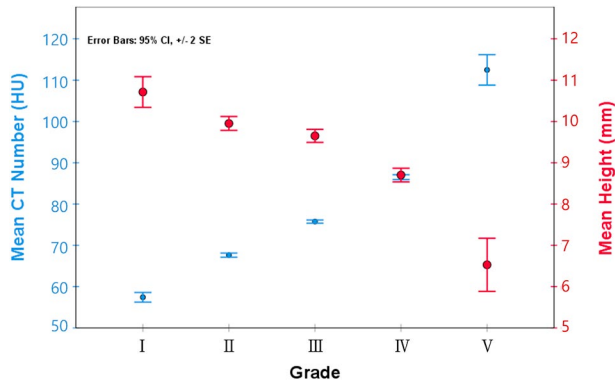


Fig. 8. Pearson’s correlation coefficient analysis of intervertebral disc height, CT number and degenerative grades. Significant correlations were observed between degenerative grade, disc height, and CT number. Data were analyzed using Pearson’s correlation coefficient. A color version of this figure is available in the online journal.

고 찰

척추원반은 척추의 중요한 구성 요소로서, 중심부의 속질핵, 바깥쪽의 섬유테, 그리고 척추 뼈끝판(epiphyseal plate)으로 이루어진 해부학적 구조이다. 척추원반은 주로 수분(70%)과 콜라겐 및 프로테오글리칸으로 구성된 세포바깥바탕질로 이루어져 있다. 노화나 기계적 스트레스에 의한 척추원반의 퇴행성 변화는 구조적, 기능적 장애로 이어져 통증을 유발하는 것으로 알려져 있다[16]. 척추원반의 퇴행은 남녀 모두에게 영향을 미치는 흔한 질환이지만, 그 빈도와 심각도는 성별에 따라 다를 수 있다. Näther 등[17]은 허리엉치부위 척추원반의 퇴행성 변화에서는 성별 간 차이를 명확하게 보여주지 못했지만, Oh 등[18]은 여성이 남성보다 척추원반의 퇴행이 더 심각하다는 것을 보고하였다. 특히 폐경 후 여성의 에스트로겐 수치 감소로 인해 퇴행이 더욱 가속화된다는 보고도 있었다[19]. 동물 모델 실험에서도 수컷과 암컷의 척추원반 퇴화와 관련된 통증 및 유전자 발현 패턴에서 뚜렷한 성별 간 차이를 발견했으며, 이는 척추원반 퇴화와 통증 사이에서 성별이 중요한 역할을 한다는 것을 시사한다[20]. 본

Table 6. Pearson’s correlation coefficient analysis of disk height, CT number, and age

Variables	Pearson’s correlation	p-value
Age : Disc Height	0.038	0.183
Age : CT number	0.417*	0.000

*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

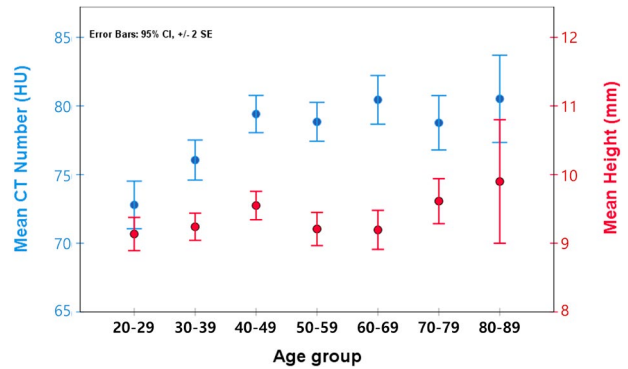


Fig. 9. Pearson’s correlation coefficient analysis of intervertebral disc height, CT number, and age. No significant correlation was found between age and intervertebral disc height, while a significant correlation was observed between age and CT number. Data were analyzed using Pearson’s correlation coefficient. A color version of this figure is available in the online journal.

연구에서도 셋째허리뼈-넷째허리뼈 사이 척추원반의 퇴행은 성별 간 유의한 차이를 보이지 않았지만, 넷째허리뼈-다섯째허리뼈와 다섯째허리뼈-첫째엉치뼈 사이 척추원반의 퇴행은 여성이 남성보다 더 심각한 것으로 나타났다.

이와 관련하여 퇴행성 척추원반으로 진단받은 163명을 대상으로 실시한 Saleem 등[21]의 연구에서는, 상부 허리뼈에 비해 하부 허리뼈에서 척추원반의 퇴행이 더 높은 발생률을 보인다고 하였다. 흥미롭게도 이러한 결과는 한국인을 대상으로 한 본 연구의 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 인종간 연구에 따르면, 이탈리아계 백인 여성은 아시아계 홍콩 여성에 비해 허리뼈의 전반적인 퇴행성 변화의 심각도가 높다고 보고되었다[22]. 이러한 결과가 인종적 차이에서 기인하는지 혹은 다른 원인으로 인한 것인지는 아직 명확하게 밝혀져 있지 않다. 그러나 여러 선행 연구는 성별이 척추원반 노화의 진행에 미치는 영향을 종합적으로 강조하며, 척추원반 퇴화를 이해하고 관리하는 데 있어 성별에 따른 요인을 고려하는 것이 중요하다는 점을 시사한다.

연령은 척추원반의 퇴행에 상당한 영향을 미치며, 다양한 연구에서도 척추원반의 퇴행성 변화와 노화 사이의 상관관계를 강조하였다. 관련 연구에 따르면 나이가 들수록 척추

원반 퇴행의 유병률이 높아져 고령자의 비율이 더 높아진다고 하였다. 예를 들어, 200명을 대상으로 한 연구에서 21~30세 환자는 38.8% 정도의 영향을 받았지만, 51~60세 환자는 그 영향이 91.6%로 증가한다고 보고되었으며[17], Brinjikji 등[23]도 척추원반 퇴행의 유병률이 20세 37%에서 80세 96%로 연령이 증가함에 따라 현저히 증가한다고 기술하였다. 허리통증 환자를 대상으로 한 또 다른 연구에서는 퇴행성 변화가 모든 연령에서 나타났으며, 특히 40~59세 환자에서 눈에 띄게 증가한다고 밝혔다[24]. 이러한 연령과의 상관성은 척추원반의 퇴행이 고령층에서 더 흔하며, 한국인을 대상으로 한 본 연구의 결과에서도 1등급의 평균 연령이 37세이고, 5등급의 평균 연령이 52세인 것으로 보아, 고령일수록 높은 유병률이 관찰된다는 선행 연구의 결과를 더욱 지지한다. 전반적으로 척추원반 퇴행성 유병률과 중증도가 나이가 들면서 증가하여, 척추원반의 퇴행성 질환을 진단하고 관리할 때 연령을 고려하는 것이 중요하다는 것을 보여준다.

한편 척추원반의 높이는 퇴행 정도와 밀접한 관련이 있으며, 허리영치부위의 상태를 이해하고 관리하는 데 주요 매개변수로, 임상적으로 중요한 영향을 미친다. 퇴행성 등급이 증가함에 따라 척추원반의 높이가 감소하는 것으로 알려져 있으며[25], Teichtahl 등[26]은 퇴행성 등급에 따라 척추원반의 변성이 심해질수록 척추원반 높이가 유의하게 감소한다고 보고하였다. 특히, 퇴행성 등급이 한 단계 상승할 때마다 평균 0.98 mm에서 1.60 mm까지 척추원반의 높이가 감소한다고 하였는데 이는 통계적으로 매우 유의한 결과이다. 또한 연령, 성별, 체질량 지수, 흡연 여부 등의 영향을 보정한 후에도 이러한 결과는 동일하다고 기술하였다. 한국인을 대상으로 한 본 연구에서도 퇴행성 등급 사이의 척추원반 높이 차이가 작게는 0.3 mm에서 많게는 2.17 mm까지 감소하는 것으로 나타났다. 이는 척추원반의 퇴행이 진행될수록 척추원반 높이가 낮아진다는 것을 의미한다. 매우 흥미롭게도 본 연구에서 퇴행성 등급의 변수를 제외한, 연령과 척추원반 높이의 상관관계 분석 결과 직접적인 상관관계는 보이지 않았다. 이러한 결과를 종합해 보면, 퇴행성 변화라는 매개변수를 통해 간접적인 영향을 받아 척추원반의 높이가 낮아지는 것을 의미하며, 척추원반 높이가 척추원반 퇴행의 중요한 지표임을 더욱 뒷받침하는 결과로 생각된다.

척추원반의 퇴행성 변화는 속질핵의 수분함량이 크게 변화하는 것이 특징이며, 수분함량은 척추원반의 생체역학적 기능을 유지하는 데 매우 중요하다. 속질핵은 글리코사미노글리칸, 콜라겐 및 비콜라겐성 단백질로 구성된 수화된 젤라틴 조직으로[27], 척추의 하중 지지와 운동에 필수적인 생체역학적 역할을 담당한다. 퇴행성 변화 과정에서 속질핵은 수

분 및 프로테오글리칸 함량이 현저히 감소하여, 척추원반의 기계적 특성에 악영향을 미쳐 척추원반의 높이 감소 및 기타 형태학적 변화를 초래한다[28]. 또한 Yang 등[29]은 속질핵의 수분 감소가 척추원반의 구조적 및 기능적 손상을 초래하여 퇴화 과정을 더욱 악화시킬 수 있다고 하여, 속질핵의 수분함량이 척추원반의 건강을 유지하는 데 중요한 요소임을 강조하였다.

CT number는 조직에 대한 방사선 감쇠계수를 측정하여, 표준 압력 및 온도에서 기준 물질인 물을 0 HU, 공기를 -1000 HU, 뼈를 +1000 HU로 정의하는 척도로 선형 변환한 것이다. 이는 조직과 물질의 다양한 밀도를 해석할 수 있는 표준화된 방법을 제공하므로 CT 영상에서 중추적인 역할을 한다. 또한 이 척도는 신체 내 다양한 조직과 물질을 구별하고, 병변을 평가하고, 치료를 계획하는 데 필수적이며, 진단 영상에서 매우 중요함을 보여준다[30]. Lin 등[31]이 108개의 생체조직 표본을 대상으로 한 연구와, Zeldin 등[32]이 바이오뱅크에서 제공받은 23개의 사체조직 샘플을 대상으로 한 연구에서 각각 퇴행된 척추원반의 공통적인 특징을 보고하였다. 두 연구 모두 퇴행된 척추원반에서는 1형 콜라겐의 생성이 증가하고 2형 콜라겐의 생성이 감소하며, 속질핵 내 콜라겐 분포의 변화와 프로테오글리칸의 점진적인 손실로 인해 척추원반의 수분함량이 감소한다고 결론지었다.

본 연구에서는 퇴행성 척추원반의 수분함량이 감소함에 따라, 퇴행성 등급이 높아질수록 속질핵의 수분함량 감소로 CT number가 증가할 것이라는 가설을 세우고 한국인을 대상으로 퇴행성 척추원반의 CT number와 등급 간의 상관관계를 분석한 결과, 척추원반 퇴행 등급이 증가할수록 CT number가 유의하게 증가하는 양상을 보였다($p < 0.001$). 구체적으로, 1등급 척추원반의 평균 CT number는 57.34 ± 4.66 HU였으며, 등급이 증가함에 따라 각각 17.96%, 11.98%, 13.98%, 30.27%씩 증가하여 5등급에서는 112.48 ± 10.89 HU를 나타냈다. 이러한 결과는 척추원반 퇴행이 진행됨에 따라 조직의 수분함량 감소와 섬유화의 진행으로 조직 밀도가 증가하고, 이에 따라 CT number가 높아진다는 것을 의미한다. 현재로서는 척추원반 퇴행에 따른 CT number의 변화에 대한 인종별 차이점에 대해 명확한 결론을 내리기 어렵다. 하지만 본 연구의 결과는 한국인에서 척추원반의 다양한 퇴행 등급별 임상적 변화가 일어난 상태에서, CT number를 측정하기 위한 연구가 임상적으로 중요하다는 점을 시사한다. 따라서 본 연구는 한국인에서 척추원반의 퇴행 등급별 CT number에 대한 생체 계측 자료를 처음으로 제공한 것에 의의가 있으며, 척추원반의 퇴행 정도를 판단하는 하나의 지표로 임상적으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Urits I, Burshtein A, Sharma M, Testa L, Gold PA, Orhurhu V, et al. Low back pain, a comprehensive review: pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Curr Pain Headache Rep*. 2019;23:1-10.
2. Boden SD, Davis DO, Dina TS, Patronas NJ, Wiesel SW. Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72:403-8.
3. Dutmer AL, Schiphorst Preuper HR, Soer R, Brouwer S, Bultmann U, Dijkstra PU, et al. Personal and societal impact of low back pain: the groningen spine cohort. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44:E1443-51.
4. GBD 2021 Low Back Pain Collaborators. Global, regional, and national burden of low back pain, 1990-2020, its attributable risk factors, and projections to 2050: a systematic analysis of the global burden of disease study 2021. *Lancet Rheumatol*. 2023;5:e316-29.
5. Carpes FP, Reinehr FB, Mota CB. Effects of a program for trunk strength and stability on pain, low back and pelvis kinematics, and body balance: a pilot study. *J Bodyw Mov Ther*. 2008;12:22-30.
6. Basler HD, Keller S, Herda C. Good postural habits: a pilot investigation using EMG scanning of the paraspinals. *Appl Psychophys Biof*. 1997;22:171-82.
7. Yaltirik CK, Timirci-Kahraman O, Gulec-Yilmaz S, Ozdogan S, Atalay B, Isbir T. The evaluation of proteoglycan levels and the possible role of ACAN gene (c.6423T>C) variant in patients with lumbar disc degeneration disease. *In Vivo*. 2019;33:413-7.
8. Iatridis JC, MacLean JJ, O'Brien M, Stokes IA. Measurements of proteoglycan and water content distribution in human lumbar intervertebral discs. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:1493-7.
9. Lv B, Yuan J, Ding H, Wan B, Jiang Q, Luo Y, et al. Relationship between endplate defects, modic change, disc degeneration, and facet joint degeneration in patients with low back pain. *Biomed Res Int*. 2019;2019:9369853. <https://doi.org/10.1155/2019/9369853>.
10. Belykh E, Kalinin AA, Patel AA, Miller EJ, Bohl MA, Stepanov IA, et al. Apparent diffusion coefficient maps in the assessment of surgical patients with lumbar spine degeneration. *PLoS One*. 2017;12:e0183697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183697>.
11. Ji Y, Hong W, Liu M, Liang Y, Deng Y, Ma L. Intervertebral disc degeneration associated with vertebral marrow fat, assessed using quantitative magnetic resonance imaging. *Skeletal Radiol*. 2020;49:1753-63.
12. Murto N, Luoma K, Lund T, Kerttula L. Reliability of T2-weighted signal intensity-based quantitative measurements and visual grading of lumbar disc degeneration on MRI. *Acta Radiol*. 2023;64:2145-51.
13. Thompson JP, Pearce RH, Schechter MT, Adams ME, Tsang IK, Bishop PB. Preliminary evaluation of a scheme for grading the gross morphology of the human intervertebral disc. *Spine*. 1990;15:411-5.
14. Hong CH, Park JS, Jung KJ. Measurement of the normal lumbar intervertebral disc space using magnetic resonance imaging. *Asian Spine J*. 2010;4:1-6.
15. Becker SH, Arenson RL. Cost benefits of picture archiving and communication system. *J Am Med Inform Assoc*. 1994;1:361-71.
16. Mohd Isa IL, Teoh SL, Mohd NN, Mokhtar SA. Discogenic low back pain: anatomy, pathophysiology and treatments of intervertebral disc degeneration. *Int J Mol Sci*. 2022;24:208. <https://doi.org/10.3390/ijms24010208>.
17. Näther P, Kersten JF, Kaden I, Irga K, Nienhaus A. Distribution patterns of degeneration of the lumbar spine in a cohort of 200 patients with an indication for lumbar MRI. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19:3721. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063721>.
18. Oh CH, Yoon SH. Whole spine disc degeneration survey according to the ages and sex using pfirrmann disc degeneration grades. *Korean J Spine*. 2017;14:148-54.
19. Wang YXJ, Kaplar Z, Deng M, Leung JCS. Lumbar degenerative spondylolisthesis epidemiology: a systematic review with a focus on gender-specific and age-specific prevalence. *J Orthop Translat*. 2016;11:39-52.
20. Mosley GE, Wang M, Nasser P, Lai A, Charen DA, Zhang B, et al. Males and females exhibit distinct relationships between intervertebral disc degeneration and pain in a rat model. *Sci Rep*. 2020;10:15120. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72081-9>.
21. Saleem S, Aslam HM, Rehmani MA, Raees A, Alvi AA, Ashraf J. Lumbar disc degenerative disease: disc degeneration symptoms and magnetic resonance image findings. *Asian Spine J*. 2013;7:322-34.
22. So TY, Diacinti D, Leung JCS, Iannaccone A, Kripa E, Kwok TCY, et al. Lower prevalence and severity of degenerative changes in the lumbar spine in elderly Hong Kong Chinese compared with age-matched Italian Caucasian women. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2022;47:1710-8.
23. Brinjikji W, Luetmer PH, Comstock B, Bresnahan BW, Chen LE, Deyo RA, et al. Systematic literature review of imaging features of spinal degeneration in asymptomatic populations. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2015;4:811-6.
24. Zafar K, Batool N, Ali A, Arshad N, Dar WM, Naem A. Frequency of lumbar disc degenerative diseases in patients with and without radiculopathy and low back pain using

- magnetic resonance imaging. *Pak Biomed J.* 2022;5:261-5.
25. Chen XL, Li XY, Wang Y, Lu SB. Relation of lumbar intervertebral disc height and severity of disc degeneration based on Pfirrmann scores. *Heliyon.* 2023;9:e20764. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20764>.
 26. Teichtahl AJ, Urquhart DM, Wang Y, Wluka AE, Heritier S, Cicuttini FM. A dose-response relationship between severity of disc degeneration and intervertebral disc height in the lumbosacral spine. *Arthritis Res Ther.* 2015;17:297. <https://doi.org/10.1186/s13075-015-0820-1>.
 27. Antoniou J, Steffen T, Nelson F, Winterbottom N, Hollander AP, Poole RA, et al. The human lumbar intervertebral disc: evidence for changes in the biosynthesis and denaturation of the extracellular matrix with growth, maturation, ageing, and degeneration. *J Clin Invest.* 1996;98:996-1003.
 28. Blumenkrantz G, Zuo J, Li X, Kornak J, Link TM, Majumdar S. In vivo 3.0-tesla magnetic resonance T1ρ and T2 relaxation mapping in subjects with intervertebral disc degeneration and clinical symptoms. *Magn Reson Med.* 2010;63:1193-200.
 29. Yang B, Wendland MF, O'Connell GD. Direct quantification of intervertebral disc water content using MRI. *J Magn Reson Imaging.* 2020;52:1152-62.
 30. Bryant JA, Drage NA, Richmond S. CT number definition. *Radiat Phys Chem.* 2012;81:358-61.
 31. Lin Y, Jiao Y, Yuan Y, Zhou Z, Zheng Y, Xiao J, et al. Propionibacterium acnes induces intervertebral disc degeneration by promoting nucleus pulposus cell apoptosis via the TLR2/JNK/mitochondrial-mediated pathway. *Emerg Microbes Infect.* 2018;7:1-8.
 32. Zeldin L, Mosley GE, Laudier D, Gallate ZS, Gansau J, Hoy RC, et al. Spatial mapping of collagen content and structure in human intervertebral disk degeneration. *JOR Spine.* 2020;3:e1129. <https://doi.org/10.1002/jsp2.1129>.

간추림 : 본 연구에서는 퇴행성 척추원반의 등급별 빈도를 조사하고, 해당 부위 척추원반의 높이 및 CT number를 계측하여 한국인의 생체 연구에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 허리통증으로 자기공명영상을 촬영한 환자 412명(남자 221명, 여자 191명)을 대상으로, 허리영치부위 세 곳의 영상을 이용하여 퇴행성 척추원반의 등급 분류 및 높이를 계측하였으며, 또한 컴퓨터단층촬영장치로 퇴행성 척추원반에 대한 CT number를 계측하였다. 평균 연령은 49.47세였다. 성별에 따른 퇴행성 등급은 셋째허리뼈-넷째허리뼈 사이의 경우 연관성은 나타나지 않았지만, 넷째허리뼈-다섯째허리뼈 사이는 남자가 3등급이 21.47%, 여자는 4등급이 24.3%였고($p < 0.001$), 다섯째허리뼈-첫째영치뼈 사이는 4등급이 남자 23.8%, 여자 27.4%로 가장 빈도가 높았으며, 성별에 따라 퇴행성 등급의 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 그리고 척추원반의 높이 계측 결과, 1등급은 10.71 ± 1.47 mm, 2등급은 9.95 ± 1.35 mm, 3등급은 9.65 ± 1.62 mm, 4등급은 8.70 ± 1.74 mm, 마지막으로 5등급은 6.52 ± 1.89 mm로 나타났으며, 등급이 높아짐에 따라 척추원반의 높이가 낮아지는 특징을 보였다($p < 0.001$). 또한, 퇴행성 등급에 따른 CT number는 1등급에서 5등급까지 각각, 57.34 ± 4.66 HU, 67.64 ± 3.97 HU, 75.75 ± 3.90 HU, 86.51 ± 6.14 HU, 112.48 ± 10.89 HU로 나타나, 등급이 높아짐에 따라 CT number도 증가하는 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.001$). 따라서 본 연구의 결과는 한국인에서 척추원반의 높이 및 CT number가 척추원반의 퇴행 정도를 판단하는 하나의 지표로 작용하여 임상적으로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

찾아보기 낱말 : 퇴행성 척추원반, 퇴행성 등급, 자기공명영상, 컴퓨터단층촬영, 감쇠계수