

Original Article

척추 뼈 SPECT/CT검사에서 경피적 척추성형술 시행 환자의 골 시멘트로 인한 인공물과 CT보정방법의 유용성 평가

서울특별시 서울의료원 핵의학과¹, 신구대학교 방사선과², 연세대학교 보건대학원³, 건국대학교병원 핵의학과⁴
김지현¹ · 박훈희² · 이주영³ · 남궁식⁴ · 손현수¹ · 박상륜¹

Usefulness Evaluation of Artifacts by Bone Cement of Percutaneous Vertebroplasty Performed Patients and CT Correction Method in Spine SPECT/CT Examinations

Ji-Hyeon Kim¹, Hoon-Hee Park², Juyoung Lee³, Sik Nam-Kung⁴, Hyeon-Soo Son¹ and Sang-Ryoon Park¹

¹Department of Nuclear Medicine, Seoul Medical Center, Seoul, Korea

²Department of Radiological Technology, Shingu College, Seongnam, Korea

³Graduate School of Public Health, Yonsei University, Seoul, Korea

⁴Department of Nuclear Medicine, Konkuk University Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: With the aging of the population, the attack rate of osteoporotic vertebral compression fracture is in the increasing trend, and percutaneous vertebroplasty (PVP) is the most commonly performed standardized treatment. Although there is a research report of the excellence of usefulness of the SPECT/CT examination in terms of the exact diagnosis before and after the procedure, the bone cement material used in the procedure influences the image quality by forming an artifact in the CT image. Therefore, the objective of the research lies on evaluating the effect the bone cement gives to a SPECT/CT image. **Materials and Methods:** The images were acquired by inserting a model cement to each cylinder, after setting the background (3.6 kBq/mL), hot cylinder (29.6 kBq/mL) and cold cylinder (water) to the NEMA-1994 phantom. It was reconstructed with Astonish (Iterative: 4 Subset: 16), and non attenuation correction (NAC), attenuation correction (AC+SC-) and attenuation and scatter correction (AC+SC+) were used for the CT correction method. The mean count by each correction method and the count change ratio by the existence of the cement material were compared and the contrast recovery coefficient (CRC) was obtained. Additionally, the bone/soft tissue ratio (B/S ratio) was obtained after measuring the mean count of the 4 places including the soft tissue(spine erector muscle) after dividing the vertebral body into fracture region, normal region and cement by selecting the 20 patients those have performed PVP from the 107 patients diagnosed of compression fracture. **Results:** The mean count by the existence of a cement material showed the rate of increase of 12.4%, 6.5%, 1.5% at the hot cylinder of the phantom by NAC, AC+SC- and AC+SC+ when cement existed, 75.2%, 85.4%, 102.9% at the cold cylinder, 13.6%, 18.2%, 9.1% at the background, 33.1%, 41.4%, 63.5% at the fracture region of the clinical image, 53.1%, 61.6%, 67.7% at the normal region and 10.0%, 4.7%, 3.6% at the soft tissue. Meanwhile, a relative count reduction could be verified at the cement adjacent part at the inside of the cylinder, and the phantom image on the lesion and the count increase ratio of the clinical image showed a contrary phase. CRC implying the contrast ratio and B/S ratio was improved in the order of NAC, AC+SC-, AC+SC+, and was constant without a big change in the cold cylinder of the phantom. AC+SC- for the quantitative count, and AC+SC+ for the contrast ratio was analyzed to be the highest. **Conclusion:** It is considered to be useful in a clinical diagnosis if the application of AC+SC+ that improves the contrast ratio is combined, as it increases the noise count of the soft tissue and the scatter region as well along with the effect of the bone cement in contrast to the fact that the use of AC+SC- in the spine SPECT/CT examination of a PVP performed patient drastically increases the image count and enables a high density of image of the lesion(fracture). (Korean J Nucl Med Technol 2014;18(1):49-61)

Key Words : SPECT/CT, Percutaneous vetebroplasty, Bone cement, Attenuation correction, Scatter correction

• Received: March 28, 2014. Accepted: April 21, 2014.
• Corresponding author : **Hoon-Hee Park**
Department of Radiological Technology, Shingu College,
377 Gwangmyeong-ro, Seongnam 462-743, Korea
Tel: +82-31-740-1638, Fax: +82-31-740-1589
E-mail: hzpark@shingu.ac.kr

서론

경피적 척추성형술(percutaneous vertebroplasty, PVP)는
1987년 통증을 동반한 척추 혈관종 치료로 처음 보고 된 이후,

전이성 암, 골수종 등에 의한 동통을 조절하기 위해서 사용되었고^{1,2)} 현재는 인구의 고령화와 함께 급증하고 있는 골다공증환자에게 호발되는 골다공증성 척추압박골절과 외상성 압박골절의 치료에 가장 많이 시행되는 표준화된 치료 방법이다.^{3,4)} PVP의 목적은 손상된 척추의 강도와 안정성(stability)을 향상시켜 골절과 전이암 치료에 있어 통증을 완화시키고 성공적인 결과를 얻는 데 있으며⁵⁾ 손상된 척추의 복원에는 폴리메타크릴산 메틸(polymethylmethacrylate, PMMA)을 주성분으로 하는 골 시멘트(bone cement)를 사용한다. PVP 시술 전·후에 압박골절의 정확한 진단평가가 이루어져야 하며 손상된 척추의 형태와 위치정보, 골다공증에 의한 병적 골절의 손상정도, 추체 압박율, 나이에 따른 생리학적 뼈의 노화정도(즉 골밀도) 등이 중요한 평가 요소가 된다. 이에 가장 대표적인 영상진단검사방법은 CT, MRI, 핵의학 뼈 스캔 및 SPECT가 있는데 CT 검사는 정확한 해부학적 구조와 위치정보를 제공하나 골 시멘트에 의한 영향으로 인공물이 발생하며 기능 및 생리적 정보를 제공하지 않는다. 한편 핵의학검사와 MRI 검사는 척추의 병적 골절 정도와 추체의 압박율과 같은 기능 및 생리적 정보를 제공하고 골 시멘트로 인한 인공물의 영향이 거의 없으나 골절 척추와 골 시멘트의 해부학적 구조와 위치정보의 민감도(sensitivity)가 떨어지는 단점이 있다.⁶⁾ 최근 양측의 특성을 모두 고려하여 CT의 정확한 해부학적 위치정보와 핵의학 뼈 SPECT의 생리적 정보가 모두 획득 가능한 SPECT/CT 장비의 개발과 함께, SPECT/CT 검사의 특징과 우수성을 연구하고 기존의 검사들과 비교하는 임상문헌이 보고되고 있다. Kush 등의 연구에서 PVP 시행 전·후의 평가에서 척

추 뼈 SPECT/CT 검사를 통한 판독이 기존의 뼈 SPECT 검사와의 비교에서 평균 50%의 차이가 발생한다는 결론을 얻고⁶⁾ CT와 SPECT 장비의 단독사용보다 SPECT/CT의 융합(fusion)정보를 이용하는 것이 척추압박골절의 위치정보 진단능 향상에 유용하며 기타 추가 골절 및 전이성 암 병변의 식별에도 도움이 된다고 연구 발표하였다. SPECT/CT 장비의 이러한 장점과 함께 기존의 SPECT 검사에서 인지하지 못했던 인공물과 영상품질 변화요인 또한 동시에 발생되고 있다. 이는 장비로부터 기인된 것이 아닌 환자의 임상상태로부터 발생된 내적요인으로 특히 PVP 시술에 사용된 PMMA 골 시멘트는 CT 영상에서 고밀도의 인공물(high contrast foreign body artifact)로 인식되어 영상에 방사형 인공물(star shape artifact)을 발생시키고 영상품질을 저하시키는 요인이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 압박골절환자의 PVP 시행 후 평가에 있어 전통적인 뼈 SPECT 검사에서 확인하기 어려웠던 골 시멘트로 인한 인공물이 영상에 미치는 영향과 섭취율의 변화를 확인하고 척추 뼈 SPECT/CT 검사에서 압박골절의 정확한 진단과 영상품질 향상을 위한 CT보정 방법을 평가하는 데 목적을 두었다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 대상

1) 팬텀(phantom) 제원

골 시멘트의 유·무와 CT 보정방법에 따른 평균계수의 변화를 알아보기 위해 NEMA (national electrical manufacturers association) PET PhantomTM (NU2-1994) (Data Spectrum Corporation, USA)을 이용했다(Fig. 1). 팬텀의 내부용량은 총



Fig. 1. NEMA-1994 Phantom was used to evaluate the mean count of SPECT/CT study.

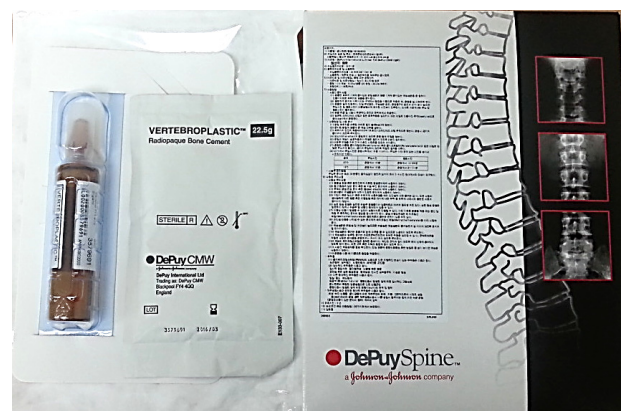


Fig. 2. PMMA bone cement was used to evaluate the artifact effect of SPECT/CT images in phantom study.

6,047 mL이며, 외경이 20.3 cm (내경 19.7 cm)이다. 내부에는 3개의 삽입물 Clear Lucite, Hot Sphere, Solid Teflon 원통(cylinder)이 고정되어 있고 각 원통의 내부용량은 총 260 mL, 외경이 5.0 cm (내경 4.3 cm), 높이가 18.3 cm이다.

2) 골 시멘트(bone cement) 제원

팬텀실험에 사용한 골 시멘트는 의료용 자가 치료 폴리메타크릴산 메틸(polymethylmethacrylate, PMMA) 시멘트이며 그중 척추성형술 전용인 VERTEBROPLASTIC™ (DePuy International Ltd, Blackpool, UK)을 사용하였다(Fig. 2). 주요 성분인 PMMA는 투명성과 기계적 강도, 성형성이 우수한 플라스틱(아크릴) 재료 중 하나로서 대표적인 메타크릴 합성수지이다. 상용화된 골 시멘트는 액상의 메타크릴산 메틸(methylmethacrylate, MMA) 단량체(monomer)와 분말(powder)형식의 MMA 중합체(polymer)로 구성되어 있고 혼합 후 반고체 상태의 골 시멘트를 주사기에 담아 사용하며, 중합반응 후 발열현상과 함께 응고된다.

3) 장비 및 영상획득

SPECT/CT 장비는 BrightView XCT (Philips Health care, Cleveland, USA)를 이용하였으며 척추 뼈 SPECT/CT 프로토콜(protocol)을 적용하여 영상을 획득하였다(Fig. 3). SPECT 영상획득 조건은 투사영상당 12초씩 5.6 간격으로 총 64 frames을 획득하였고 CT 영상획득 조건은 관전압 120 kV, 관전류는 팬텀실험에서 20 mA, 임상영상에서 20-25 mA로 하였고, CT 촬영 방식은 3 segments localization fast mode, CT 재구성 방법은 standard (알고리즘 'standard', 절편두께 1.0 mm)와 HiRes (알고리즘 'High', 절편두께 0.3 mm)를 이용했다.

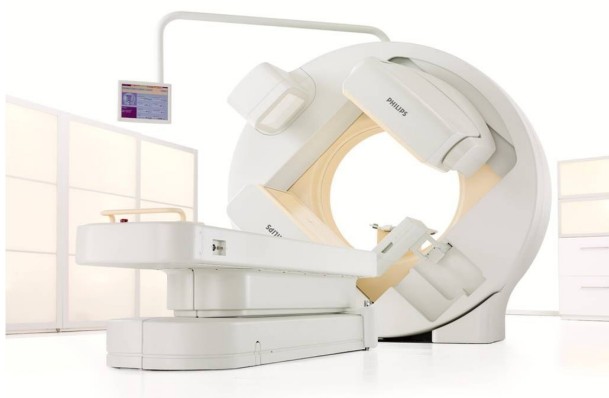


Fig. 3. BrightView XCT (SPECT/CT with flat-panel detector) was used for experiments of bone cement.

4) 환자 정보

2012년 8월부터 2013년 7월까지 척추 뼈 SPECT/CT를 시행한 환자 136명 중 압박골절 진단을 받은 환자는 109명이었고 평균 나이는 69.9 ± 14.6 세이며 남성 37명, 여성 72명이었다. 그 중 PVP를 시행한 20명을 선별하였고 평균 나이는 80.1 ± 6.7 세이며, 남성 4명, 여성 16명이었다.

2. 실험방법

1) 팬텀 연구

팬텀 내부의 3개 삽입물 중 Solid Teflon을 제거한 후 남은 2개의 원통에 열소와 냉소를 설정했다. 팬텀과 2개의 원통에 증류수를 채운 후 방사성의약품 ^{99m}Tc 을 이용하여 배후방사능 3.6 kBq/mL ($0.9 \mu\text{Ci/mL}$), 열소 29.6 kBq/mL ($8.0 \mu\text{Ci/mL}$)가 되도록 희석했다. 골 시멘트 모형을 만들기 위해 MMA 단량체와 중합체를 섞어 PMMA (polymer + MMA)를 만든 후 원통에 삽입할 수 있도록 직경 1.0 cm, 높이 2.5 cm의 원형기둥 모양으로 성형 후 응고시켰다. 제작된 골 시멘트 모형을 열소와 냉소 원통에 삽입한 후 환자검사와 동일한 척추 뼈 SPECT/CT 프로토콜을 이용하여 영상 획득하였다(Fig. 4). 이때 물에 대한 매질 특성만 고려되었고, 뼈와 연조직 등 다른 매질에 대한 특성은 고려되지 않았다.

2) 임상정보 연구

척추 뼈 SPECT/CT 검사를 시행하여 척추 압박골절 진단을 받은 109명의 환자 중 경피적 척추성형술을 시행한 환자 20명을 연구 대상으로 선별한 후, 해당 환자들의 추체를 골 시멘트가 성형된 추체와 성형되지 않은 추체, 압박골

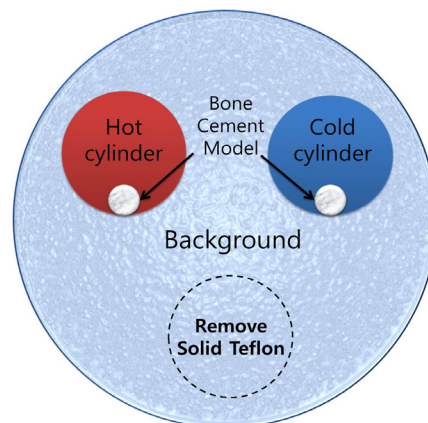


Fig. 4. Model of bone cement was inserted in hot and cold cylinder of NEMA-1994 phantom.

절에 의해 섭취율이 증가된 추체와 정상추체로 분류한 뒤 총 30개 양상(pattern)의 추체를 분석하였다.

^{99m}Tc-HDP 방사능 의약품 74-92.5 MBq (20-25 mCi)을 정맥주사하고 2시간 후에 척추 뼈 SPECT/CT 프로토콜을 이용하여 검사 시행하였다.

3) 영상재구성

재구성 프로그램은 Astonish (Philips Healthcare, Netherlands)를 이용하였으며, 재구성 방법은 iterative 4, subsets 16을 사용하였고, CT 보정 방법에 따른 평균계수의 변화를 비교하기 위해 비감쇠보정(non attenuation correction, NAC), 감쇠보정(attenuation and non scatter correction, AC+SC-), 감쇠 및 산란보정(attenuation and scatter correction, AC+SC+) 3가지 방법으로 나누어 사용하였다.

3. 영상분석

1) 팬텀영상 분석

NEMA-1994 팬텀을 통해 획득된 SPECT/CT 영상을 위크스테이션 EBW NM (extended brilliance workstation NM, ver. 2.01)으로 분석하였다. CT 보정 방법에 따라 재구성된 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 영상에 원형 관심영역(region of interest, ROI)를 설정하여 평균계수를 측정했고, 동일한 분석에서 골 시멘트의 유·무에 따른 평균계수와 CT HU (hounsfield unit) 값의 변화를 비교했다. 관심영역의 크기는 19.0±0.5 cm²로 임상영상 분석과 동일하게 하였으며, 위치는 골 시멘트가 있는 슬라이스에서 열소원통을 기준으로 열소중양부, 시멘트인접 열소, 시멘트, 시멘트인접 배후방

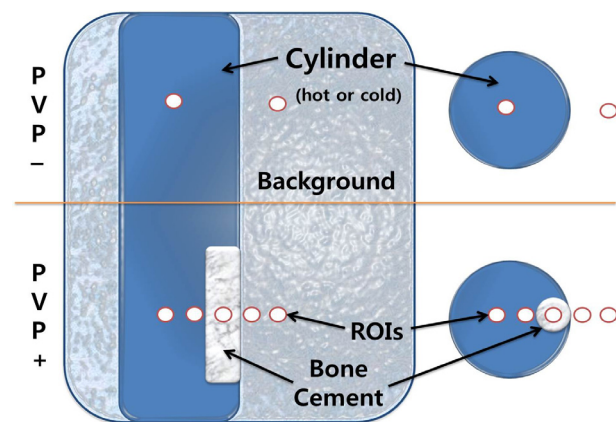


Fig. 5. ROI was set at 5 places when cement existed (PVP+) at the inside of the cylinder and at 2 places when it did not exist (PVP-).

사능, 배후방사능에 관심영역을 일렬로 5개 설정한 후 방향을 바꾸어 5회 반복 측정했고, 냉소원통을 기준으로 같은 위치에 관심영역을 설정한 후 5회 반복 측정했다. 또한, 골 시멘트가 없는 슬라이스에서 열소원통을 기준으로 열소중양부, 배후방사능 2곳에 관심영역을 설정한 후 5회 반복 측정했고, 냉소원통 기준 냉소중양부, 배후방사능 2곳에 관심영역을 설정한 후 5회 반복 측정했다(Figs. 5, 6). 각각 5회씩 반복 측정된 평균계수의 전체평균값과 표준편차를 구하였고 배후방사능은 열소와 냉소의 구분 없이 합산한 후 공통으로 전체평균값을 구했다. 대조도 비를 이용한 영상품질을 평가하기 위하여 대조도 회복 계수(contrast recovery coefficient, CRC)를 구하였고, CRC는 다음과 같은 공식을 이용하였다. 통계 분석은 SPSS ver.18을 이용하였다.

CRC for each hot and cold cylinder

$$CRC_h = \frac{C_h}{C_B} \quad CRC_c = 1 - \left(\frac{C_c}{C_B} \right)$$

h: hot cylinder c: cold cylinder

C: mean count B: background

2) 임상영상 분석

CT 보정 방법에 따라 재구성된 NAC, AC+SC-, AC+SC+

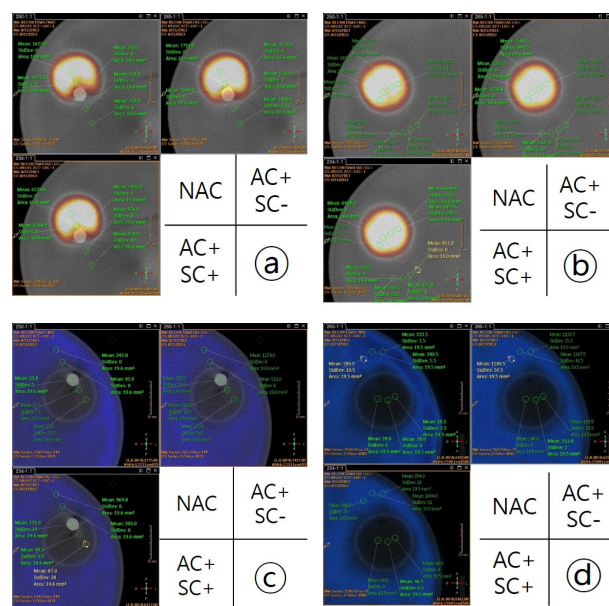


Fig. 6. The mean count was measure by setting ROI by 5 times after diving the images reconstructed by the 3 types of CT correction methods into hot & cold cylinder (a, c) which cement existed and hot & cold cylinder (b, d) which cement did not exist.

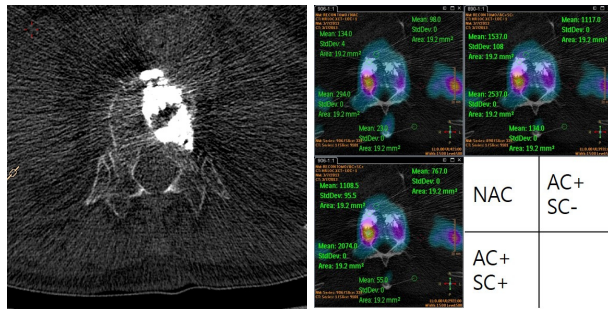


Fig. 7. Artifact of the CT image generated by the bone cement (left). ROI of the patient image was set by dividing the vertebral body into the fracture region, the normal region and the cement, and the soft tissue was set on the spine erector muscle (right).

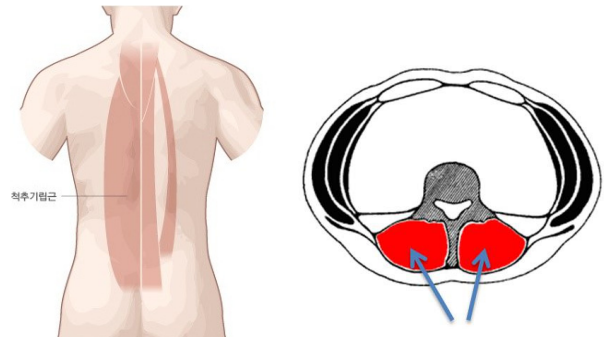


Fig. 8. The analysis on the soft tissue was set with the spine erector muscle (arrows) distributed on the overall spine bone (left).

Table 1. Analysis of ROIs (NEMA-1994 phantom)

ROIs		Cement	NAC		AC+SC-		AC+SC+		CT HU	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Hot	Hot_center	+	1806.8	82.2	8067.2	296.8	6688.0	288.4	-97.8	38.2
		-	1607.2	58.2	7572.8	198.2	6591.2	59.0	-65.0	40.1
	Hot_near_cement	+	1168.8	0.0	6486.4	2.2	5059.8	0.6	-45.2	84.8
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hot_cement	+	623.8	0.0	3897.0	0.0	2732.4	0.0	3000.0	0.0
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BKG_near_cement	+	352.0	6.2	2109.2	23.0	1332.0	25.4	-128.8	51.2
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cold	Cold_center	+	35.4	5.2	208.0	21.8	99.0	15.2	-30.2	32.2
		-	20.2	0.8	112.2	3.6	48.8	3.0	-32.3	33.7
	Cold_near_cement	+	16.6	0.6	136.0	6.4	47.4	1.2	-13.6	53.0
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cold_cement	+	33.4	4.6	251.6	72.0	122.2	17.0	2788.8	212.0
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BKG_near_cement	+	144.8	2.0	662.0	9.4	451.6	5.4	-23.6	40.4
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Both	BKG*	+	284.3	7.6	1193.2	44.7	833.0	35.3	-97.0	37.2
		-	250.2	7.0	1009.4	33.5	763.3	27.5	-68.1	38.1

*BKG, background activity.

3가지 영상을 워크스테이션 EBW NM으로 분석하였다. 관심영역의 크기는 환자 추체내의 불균질한 시멘트 주입 양상을 분석하기 위하여 비교적 작은 크기를 사용했고, 크기는 $19.0 \pm 0.5 \text{ cm}^2$ 이다. 관심영역의 위치는 추체를 골절부, 정상부, 시멘트로 나누어 설정하였고, 배후방사능은 연조직에 설정하였다(Fig. 7). 이때 연조직은 인체 내 전체 척추에 분포하며 기립을 지탱하는 척추기립근(spine erector muscle)으로 선택하여 분석하였다(Fig. 8). 골 시멘트 성형 유·무와

골절부의 유·무에 따라 나눈 해당 추체에서 4곳의 관심영역 평균 계수와 CT HU 값을 측정한 후 전체 평균값과 표준편차, 계수 변화율을 구하였다. 뼈와 연조직간의 대조도 비를 통한 영상품질 평가를 위하여 뼈/연조직 간 계수 비(bone/soft tissue ratio, B/S ratio)를 구했고 B/S ratio는 다음과 같은 공식을 이용하였다. 통계 분석은 SPSS ver.18을 이용하였다.

B/S ratio for each vertebral body with and without bone cement

$$B/S \text{ ratio} = \frac{C_{Bone}}{C_{Soft \text{ tissue}}}$$

C: mean count

결 과

1. 팬텀영상 분석 및 CRC

NEMA-1994 팬텀을 이용한 척추 뼈 SPECT/CT 검사에서 골 시멘트에 의한 평균계수와 CT 보정 방법에 따른 평균계수의 변화를 평가한 결과에서 열소원통을 중심으로 측정한 평균계수는 골 시멘트가 있을 때 열소중앙부 NAC: 1806.8±82.2, AC+SC-: 8067.2±296.8, AC+SC+: 6688.0±288.4, 시멘트인접 열소 1168.8±0.0, 6486.4±2.2, 5059.8±0.6, 시멘트

트 623.8±0.0, 3897±0.0, 2732.4±0.0, 시멘트인접 배후방사능 352.0±6.2, 2109.2±23.0, 1332.0±25.4이었고, 골 시멘트가 없을 때 열소중앙부 1607.2±58.2, 7572.8±198.2, 6591.2±59.0이었다. 냉소원통을 중심으로 측정한 평균계수는 골 시멘트가 있을 때 냉소중앙부 NAC: 35.4±5.2, AC+SC-: 208.0±21.8, AC+SC+: 99.0±15.2, 시멘트인접 냉소 16.6±0.6, 136.0±6.4, 47.4±1.2, 시멘트 33.4±4.6, 251.6±72.0, 122.2±17.0, 시멘트인접 배후방사능 144.8±2.0, 662.0±9.4, 451.6±5.4이었고 골 시멘트가 없을 때 냉소중앙부 20.2±0.8, 122.2±3.6, 48.8±3.0이었다. 두 원통을 중심으로 측정한 배후방사능은 열소와 냉소의 구분 없이 전체 배후방사능 평균으로 했고, 골 시멘트가 있을 때 284.3±7.6, 1193.2±44.7, 35.3±27.5, 골 시멘트가 없을 때 250.2±7.0, 1009.4±113.5, 763.3±27.5이었다(Table 1, Figs. 9-10).

골 시멘트의 유무에 따른 열소와 냉소의 평균계수 변화는 골 시멘트가 없는 열소보다 골 시멘트의 영향을 받은 열소의

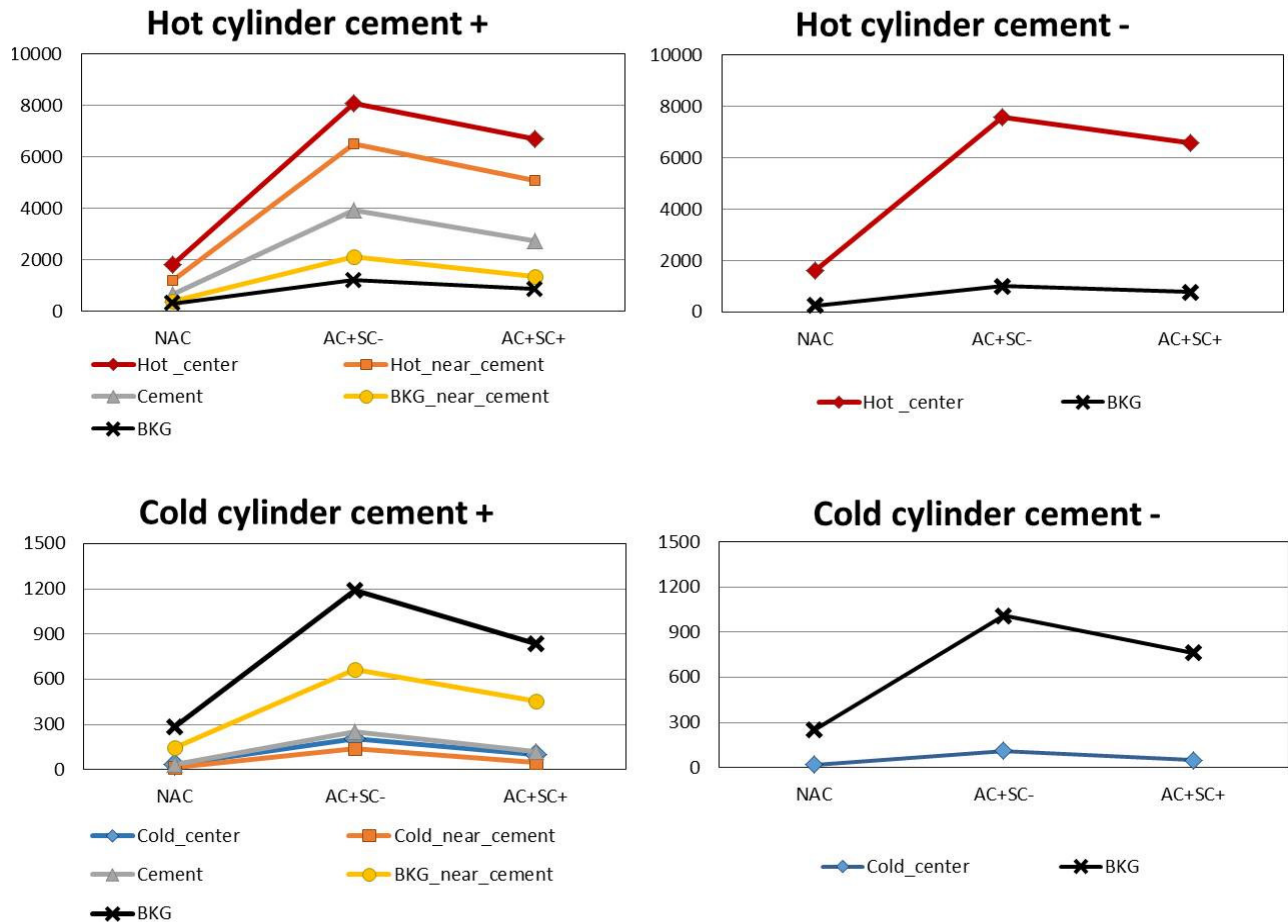


Fig. 9. AC+SC- is the highest for the mean count depending on the CT correction method of the hot (top) and cold (bottom) cylinder when the cement exists (left) and does not exist (right).



Fig. 10. As the graph showing the change of the mean count on the 5 types of detail regions centering the cylinder when the bone cement exists, the mean count of AC+SC- is the highest.

Table 2. Evaluation percentage increase of mean count and CT HU value caused by bone cement

	Percentage increase of mean count (%) (cement+) to (cement-)			CT HU (cement+) - (cement-)
	NAC	AC+SC-	AC+SC+	
Hot cylinder	+12.4	+6.5	+1.5	-32.8
Cold cylinder	+75.2	+85.4	+102.9	+2.1
Background	+13.6	+18.2	+9.1	-28.9

Table 3. Evaluating percentage increase of mean count caused by CT correction method(AC+SC- or AC+SC+ to NAC)

	Percentage increase of mean count (%)					
	Cement+			Cement-		
	NAC	AC+SC-	AC+SC+	NAC	AC+SC-	AC+SC+
Hot cylinder	-	+ 350	+ 270	-	+ 370	+ 310
Cold cylinder	-	+ 490	+ 180	-	+ 460	+ 140
Background	-	+ 320	+ 190	-	+ 300	+ 210

Table 4. CRC^{*} ratio according to exist of bone cement between each cylinder and background

	Bone cement +			Bone cement -		
	NAC	AC+SC-	AC+SC+	NAC	AC+SC-	AC+SC+
Hot cylinder	6.4	6.8	8.0	6.4	7.5	8.6
Cold cylinder	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9

*CRC, contrast recovery coefficient.

Table 5. Analysis of ROIs (patient data)

ROIs	Cement	NAC		AC+SC-		AC+SC+		CT HU	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Fracture bone (hot lesion)	+	852.1	22.4	7288.1	82.0	6532.7	77.0	198.0	214.0
	-	640.4	24.5	5155.6	149.7	3995.3	154.5	83.5	189.0
Cement (cold region)	+	220.0	11.7	2315.0	131.3	1762.9	112.6	2320.6	434.4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Normal bone (osteoporotic bone)	+	272.2	18.4	2553.3	174.0	1976.9	152.6	184.9	191.9
	-	177.8	10.8	1580.3	88.2	1178.5	77.6	54.9	132.0
Soft tissue (spine erector muscle)	+	41.5	3.9	191.6	17.3	93.3	10.9	13.4	83.1
	-	37.8	2.1	182.9	8.1	90.1	5.4	-7.0	82.9

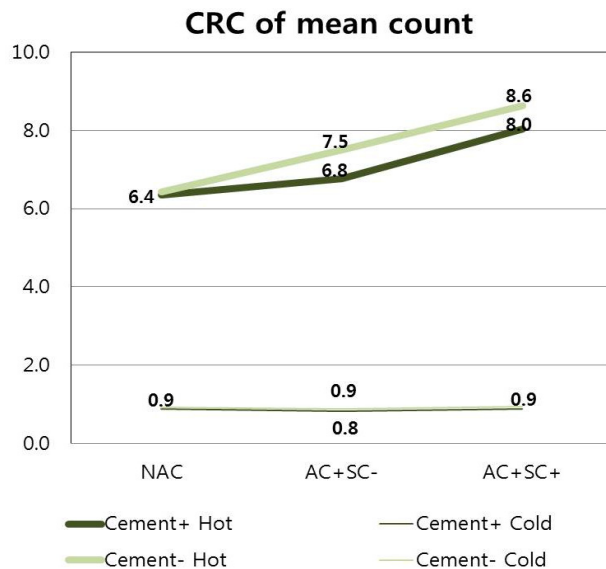


Fig. 11. Although the CRC change by the CT correction methods increase at the hot cylinder, there is no specific change at the cold cylinder.

평균계수가 12.4%, 6.5%, 1.5% 증가하였고, 냉소는 75.2%, 85.4%, 102.9% 증가하였다. 열소와 냉소의 구분 없이 팬텀 배후방사능의 변화는 13.6%, 18.2%, 9.1% 증가했고, 열소, 냉소, 배후방사능 모두 골 시멘트가 존재할 때 평균계수가 증가하였다. 또한, 골 시멘트의 유·무에 따른 평균 CT HU 값의 변화는 열소에서 32.8, 배후방사능에서 28.9 감소했고,

냉소에서 2.1 증가했다.

NAC의 평균 계수를 기준으로 AC+SC-의 계수는 골 시멘트가 있을 때 열소 350%, 냉소 490%, 배후방사능 320%, 골 시멘트가 없을 때 열소 370%, 냉소 460%, 배후방사능 300%가 증가하였으며, AC+SC+의 계수는 골 시멘트가 있을 때 열소 270%, 냉소 180%, 배후방사능 190%, 골 시멘트가 없을 때 열소 310%, 냉소 140%, 배후방사능 210%가 증가하였다. 골 시멘트의 유·무와 상관없이 CT 보정을 사용하였을 때 평균계수가 증가했고, AC+SC-의 평균계수가 가장 높았으며, 상대적으로 증가폭이 적은 AC+SC+의 계수는 NAC보다는 높지만 AC+SC-보다 낮았다(Tables 2, 3).

CRC를 이용한 대조도 비의 변화는 골 시멘트가 있을 때 열소 6.4, 6.8, 8.0, 냉소 0.9, 0.8, 0.9이었고 골 시멘트가 없을 때 열소 6.4, 7.5, 8.6, 냉소 0.9, 0.9, 0.9이었다.

열소에서 CRC는 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 순으로 증가했고, AC+SC+의 대조도 비가 가장 많이 향상되었다. 냉소에서 각 CT 보정 방법에 따른 대조도 비는 큰 변화를 보이지 않았다(Table 4, Fig. 11).

2. 임상영상 분석 및 B/S ratio

경피적 척추성형술 후 척추 뼈 SPECT/CT 검사를 시행한 환자영상에서 추체에 관심영역을 설정하고 골 시멘트에 의한 평균계수와 CT보정 방법에 따른 평균계수의 변화를

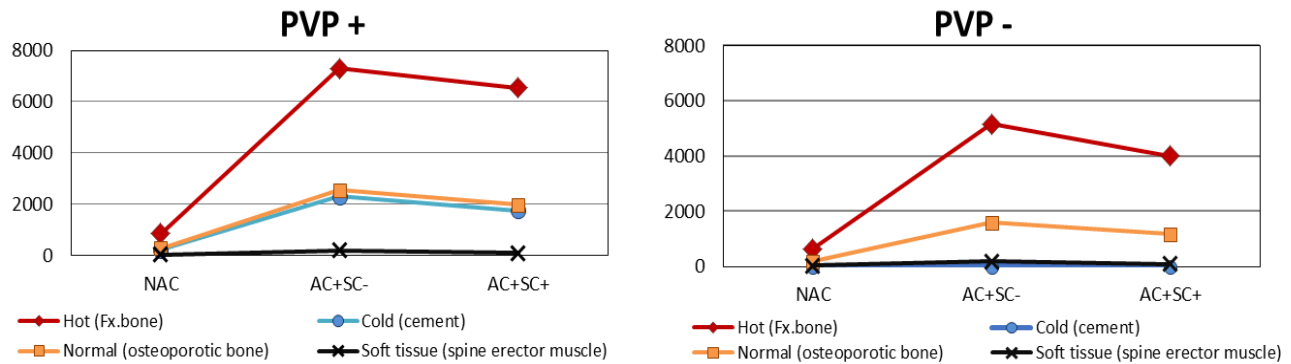


Fig. 12. AC+SC- is the highest at the mean count by the 3 types of the CT correction methods after dividing into the vertebral body of cement fed by implementing PVP (left) and not feeding the cement (right).

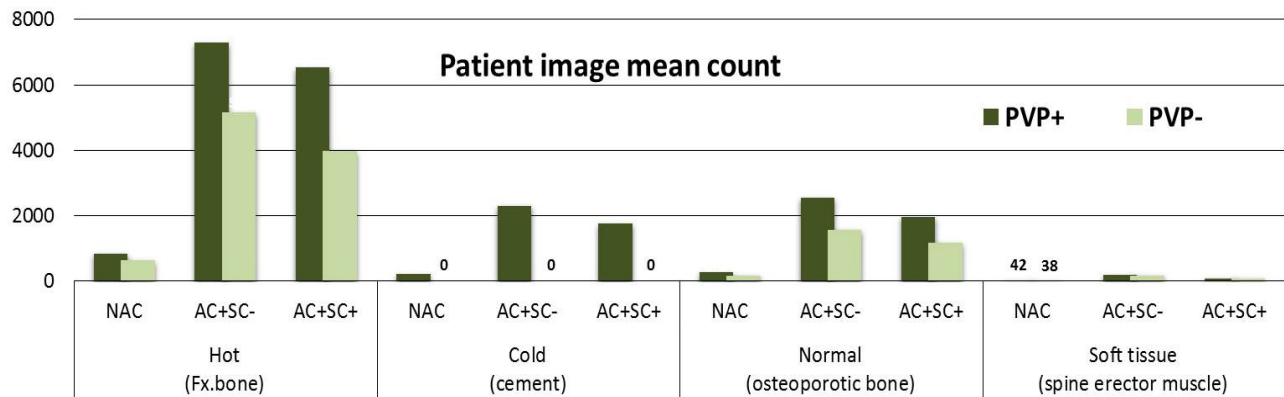


Fig. 13. As the graph showing the change of the mean count on the 4 types of detail regions centering the vertebral body when the bone cement exist, the mean count of AC+SC- is the highest.

Table 6. Evaluating percentage increase of mean count and CT HU value caused by bone cement

	Percentage increase of mean count (%)			CT HU
	(cement+) to (cement-)			(cement+) - (cement-)
	NAC	AC+SC-	AC+SC+	
Fracture bone	+33.1	+41.4	+63.5	+114.5
Normal bone	+53.1	+61.6	+67.7	+130.0
Background	+10.0	+4.7	+3.6	+20.4

평가한 결과에서 골 시멘트가 있을 때 골절부 NAC: 852.1 ± 22.4 , AC+SC-: 7288.1 ± 82.0 , AC+SC+: 6532.7 ± 77.0 , 시멘트 220.0 ± 11.7 , 2315.0 ± 131.3 , 1762.9 ± 112.6 , 정상부 272.2 ± 18.4 , 2553.3 ± 174.0 , 1976.9 ± 152.6 , 연조직 41.5 ± 3.9 , 191.6 ± 17.3 , 93.3 ± 10.9 이었고 골 시멘트가 없을 때 골절부 NAC: 640.4 ± 24.5 , AC+SC-: 5155.6 ± 149.7 , AC+SC+: 3995.3 ± 154.5 , 정상부 177.8 ± 10.8 , 1580.3 ± 88.2 , 1178.5 ± 77.6 , 연조직 37.8 ± 2.1 , 182.9 ± 8.1 , 90.1 ± 5.4 이었다(Table 5, Figs. 12, 13). 골 시멘트의 유·무에 따른 골절부, 정상부, 연조직의 평균계수 변화는 골 시멘트가 없는 골절부보다 골 시멘트의 영향을 받은 골절부의 평

균계수가 33.1%, 41.4%, 63.5% 증가하였고, 정상부는 53.1%, 61.6%, 67.7% 증가하였다. 배후방사능을 의미하는 연조직의 평균계수는 골 시멘트의 영향을 받았을 때 10.0%, 4.7%, 3.6% 증가하였다. 골절부, 정상부, 연조직 모두 골 시멘트가 존재할 때 평균계수가 증가했고, 골 시멘트의 유·무에 따른 평균 CT HU 값의 변화는 골절부에서 114.5, 정상부에서 130.0, 연조직에서 20.4 증가했다. NAC의 평균 계수를 기준으로 AC+SC-의 계수는 골 시멘트가 있을 때 골절부 760%, 정상부 840%, 연조직 360%, 골 시멘트가 없을 때 골절부 710%, 정상부 790%, 연조직 380% 증가하였으며

Table 7. Evaluating percentage increase of mean count caused by CT correction method (AC+SC- or AC+SC+ to NAC)

	Percentage increase of mean count (%)					
	Cement+			Cement-		
	NAC	AC+SC-	AC+SC+	NAC	AC+SC-	AC+SC+
Fracture bone	-	+ 760	+ 670	-	+ 710	+ 520
Normal bone	-	+ 840	+ 630	-	+ 790	+ 560
Background	-	+ 360	+ 120	-	+ 380	+ 140

Table 8. B/S ratio* according to exist of bone cement between bone and soft tissue

	Bone cement +			Bone cement -		
	NAC	AC+SC-	AC+SC+	NAC	AC+SC-	AC+SC+
Fracture bone	20.5	38.0	70.0	17.0	28.2	44.3
Normal bone	6.6	13.3	21.2	4.7	8.6	13.1

*B/S ratio, bone/soft tissue ratio.

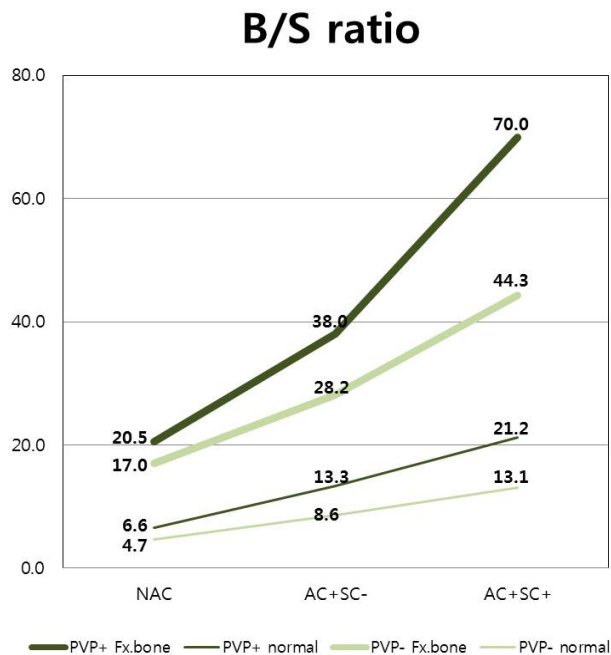


Fig. 14. AC+SC+ was the highest for the B/S ratio by the CT correction methods. the B/S ratio of the fracture region of the PVP implementing patients was the highest in the ROI comparison.

AC+SC+의 계수는 골 시멘트가 있을 때 골절부 670%, 정상부 630%, 연조직120%, 골 시멘트가 없을 때 골절부 520%, 정상부 560%, 연조직 140% 증가 증가하였다. 골 시멘트의 유·무와 상관없이 CT 보정을 사용하였을 때 평균계수가 증가했고, AC+SC-의 평균계수가 가장 높았고, 상대적으로 증가폭이 적은 AC+SC+의 계수는 NAC보다는 높지만 AC+SC-보다 낮았다(Tables 6, 7). B/S ratio를 이용한 대조도 비의 변화는 골 시멘트가 있을 때 골절부 20.5, 38.0, 70.0,

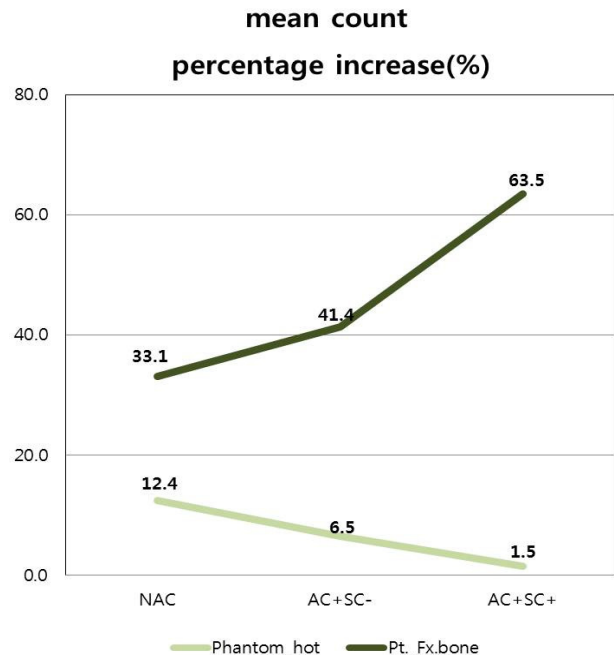


Fig. 15. The phantom image (decrease) and the clinical image (increase) showed a contrary phase in the percentage increase (%) of the mean count in the CT correction method.

정상부 6.6, 13.3, 21.2이었고, 골 시멘트가 없을 때 골절부 17.0, 28.2, 44.3, 정상부 4.7, 8.6, 13.1이었다. 골절부와 정상부 모두 B/S ratio는 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 순으로 증가했고, AC+SC+의 대조도 비가 가장 많이 향상되었다 (Table 8, Fig. 14).

팬텀실험에서 골 시멘트가 존재할 때 전반적인 평균계수의 증가를 확인했고, 관심영역 분석을 좀 더 세분화했을 때 원통 내부의 골 시멘트 인접부에서는 상대적으로 계수 증

가폭이 낮았다. 열소와 골절부 등 병소(hot lesion)에 대한 계수 증가율은 팬텀에서 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 순으로 증가폭이 저하됐고, 임상영상에서는 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 순으로 증가폭이 상승하여 상반된 양상을 보였다(Fig. 15). 대조도 비를 나타내는 CRC와 B/S ratio는 NAC, AC+SC-, AC+SC+순으로 향상되었고, 팬텀의 냉소에서는 큰 변화 없이 일정하였다. 정량적 계수는 AC+SC-가, 대조도 비는 AC+SC+가 가장 높게 분석되었다.

고 찰

의학의 발전과 함께 인간의 기대수명은 점차 증가하고 있으며, 저출산 문제와 함께 노년층의 증가가 뚜렷해지고 있다. 통계청의 분석에 따르면 60세 이상 고령인구비율과 기대수명은 매년 증가하고 있으며, 2013년 현재 17% (81.3세)에서 향후 30년 30% (84.3세) 이상으로 증가될 추세이다.^{7,8)} 이와 같은 인구의 고령화는 뼈의 노화가 가장 큰 원인인 골다공증의 발병률과도 밀접한 관계가 있는데 건강보험심사평가원의 조사에 따르면 골다공증 진료환자 중 71.4%가 60세 이상 노년층(여성비율 약 93%)에 분포하며 매년 평균 9.7%씩(70세 이상 75.2%) 증가하고 있는 것으로 조사되었다.⁹⁾ 특히 노년층의 골다공증 발병이 급격히 높아지면서 뼈의 강도 약화로 인한 골절의 발생 위험 또한 함께 증가하고 있으며, 척추의 압박골절이 골다공증성 골절의 호발부로 보고되고 있다.¹⁰⁾ 최근엔 노인들의 활동량이 많아지고, 추운 겨울날씨 등으로 인한 빙판길 낙상사고 발생률이 급격히 증가하면서(서울시 소방재난본부, 2013), 척추 압박골절 위험의 외적요인으로 작용하고 있다. 고령의 노인들에게 골다공증의 발병률과 낙상사고 발생률의 동반 증가는 골절로 인한 노인 생존율 저하와 기능수준 방해, 의료비 지출 증가 등의 부정적 영향을 미치고 있다.^{11,12)} 경피적 척추성형술은 골다공증성 척추압박골절에 가장 많이 시행되는 표준화된 치료 방법으로 고령의 환자에게 적용함에 있어 비교적 안전하고 간단한 시술로서 질병률과 사망률을 낮추는 데 도움이 되며, 낮은 합병증의 비율로서 안정화된 치료 절차로 자리 잡고 있다.⁶⁾

PVP 치료에 있어 정확한 진단평가를 위해 CT, MRI, 핵의학 뼈 스캔 및 SPECT 검사를 가장 많이 이용하고 있으며, Solá 등의 연구에서 SPECT/CT와 MRI의 PVP 시행 전후의 임상상태 개선과 진단결과의 정확성이 비교 평가되었다.¹³⁾ 연구의 결과로 SPECT/CT의 임상 개선 예측이 91% 일치했고, SPECT/CT와 MRI와의 진단결과는 80% 일치한

것으로 분석되었다. 특히 SPECT/CT는 목표로 하는 압박 골절부 이외에 새로운 골절이나 퇴행성질환 등 기타병변의 추가 발견이 용이하며, MRI 검사 시행이 불가능한 환자들에게도 효과적으로 적용할 수 있다는 장점이 보고되었는데, 최근 본원에서도 신경외과 등으로부터 SPECT/CT 검사가 압박골절의 평가와 기타 골절 유무를 찾는 데 효과적이고, MRI 검사 대비 비용의 효율성이 좋다는 긍정적인 평가를 받으며 압박골절 진단의 주요 검사방법으로 많이 이용되는 추세이다. 2012년 8월부터 2013년 7월까지의 본원 내원 환자 136명이 압박골절의 확인을 위하여 척추 뼈 SPECT/CT 검사를 시행 받았으며, 영상검사 방법의 선호 양상에 따라 SPECT/CT가 CT검사보다 선행된 환자 4명, CT검사를 생략한 환자 56명이었고, MRI검사보다 선행된 환자 26명, MRI검사를 생략한 환자 7명, MRI 시행 후 SPECT/CT를 통하여 새로운 골절 및 병소를 확인한 환자는 8명이었다. 또한, 3가지 검사를 통틀어 SPECT/CT를 가장 먼저 선행한 환자는 25명, SPECT/CT만을 시행한 환자는 5건, PVP 시행 후 평가를 위해서 SPECT/CT검사한 환자는 20명이었다. 그 중 절반이 겨울부터 봄까지 집중분포 되어 급증하였으며, 고령의 환자 나이와 낙상사고에 밀접한 관계가 있었다. 이와 같이 SPECT/CT의 임상선호도와 활용이 늘어나면서 본 저자들은 기존의 SPECT 검사에서는 인지하지 못했던 골 시멘트로 인한 고밀도의 방사형 CT 인공물을 확인하게 되었고, SPECT/CT의 도입 이전부터 기존의 SPECT 영상품질에도 영향을 미쳤을 것으로 예측한 후, 압박골절 진단을 위해 늘고 있는 검사수요와 함께 최적의 진단정보와 우수한 품질의 영상제공을 위하여, 앞으로 재구성 방법뿐 아니라 CT 보정을 통한 특성이 중요한 요인으로 작용할 것이라는 예측하에(가설을 세우고) 본 실험을 진행하였다.

실험의 결과를 통하여 골 시멘트 물질은 CT 영상의 인공물뿐만 아니라 SPECT의 섭취율 계수 또한 변화시켰다. 골 시멘트가 존재하였을 때 골절부의 평균계수는 CT보정 방법 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 따라 33.1%, 41.4%, 63.5% 증가하였으며, 보정 방법 간의 계수변화는 NAC를 기준으로 AC+SC-가 760%, AC+SC+가 670% 증가하였다. 골 시멘트로 인한 평균계수의 증가요인은 크게 2가지 측면에서 고려된다. 첫째, CT에 사용되는 엑스선으로 인한 인공물의 발생은 CT HU값의 변화와 함께 CT를 기반으로 보정된 SPECT 영상에 과대 또는 과소보정을 일으키게 되며, 결과적으로 HU값의 증가가 지배적인 시멘트영향으로 보정된 평균계수의 증가를 가져온 것으로 분석된다. 둘째, 비교적 높은 에너지를 지닌 단일광자의 감마선이 시멘트와 같은

고원자 번호를 가진 물질과의 상호작용(컴프턴 산란)을 통하여 발생된 산란계수가 평균계수의 증가에 영향을 미친 것으로 분석된다.

영상품질 향상을 위한 CT보정방법 평가에서 AC+SC-의 적용은 영상계수를 대폭 향상시켜 특히 병소의 농도(density)가 높은 영상획득이 가능하였지만, 골 시멘트의 영향과 함께, 연부조직 및 산란영역의 영상잡음 계수까지 동시에 증가시켜 대조도비의 큰 향상은 기대하기 어려웠다(NAC대비 20.5:38.0). 반면 AC+SC+의 적용은 평균계수의 증가가 NAC보다 높았지만 AC+SC-보다는 적었다. 이는 골 시멘트 등으로 인한 산란계수를 배제함으로써 발생한 차이이나 배후방사능(연조직)의 영상잡음 산란계수 배제 범위가 상대적으로 커 골절부 등의 뼈 조직과 연조직간의 평균계수편차가 확대되었고, 결과적으로 AC+SC-보다 대조도의 비가 대폭 향상되었다.(NAC대비 20.5: 70.0)

SPECT/CT를 이용한 척추압박골절의 평가에 있어 인체의 해부학적 구조로 인한 검출계수의 감쇠와 골 시멘트로 인한 변화를 최소화하며, 최적의 영상품질을 제공하기 위하여 CT 감쇠보정만(AC+SC-)을 적용하였을 때 감쇠된 계수의 회복과 함께 향상된 섭취율 농도를 기대할 수 있었다. AC+SC-에 산란보정(SC+)방법을 추가하였을 때 전반적인 평균계수의 감소를 가져오나 대부분 골 시멘트로 인한 배후방사능의 산란계수를 배제시키기에 대조도 비는 향상된다. 따라서 두 보정방법을 병행함으로써 임상영상판독의 진단능 향상에 유용할 것으로 사료된다.

그러나 SPECT 자체는 PET/CT의 표준섭취계수(standard uptake value, SUV)와 같이 정확한 정량화 분석에 한계가 있다. 따라서 골다공증으로 인한 병적 골질의 정도분석에 기능 및 생리적 정보를 완벽히 제공하는 것은 아니며 CT를 이용한 정확한 위치분석으로 상호보완은 가능하나 SPECT/CT 자체가 척추압박골절에 관한 모든 임상사례에 가장 효과적인 방법으로 적용되는 것 또한 한계가 있다. 그러므로 MRI를 통한 기능 및 생리적 정보를 함께 분석하며, 압박골절외의 악성종양 및 기타 연조직 등의 공존병리 배제가 필요하다. 그것은 SPECT/CT의 특수성(specific)뿐만 아니라 MRI의 민감성(sensitivity)가 더 중요시되는 임상사례가 존재함을 의미한다.¹⁴⁾

결 론

PVP를 시행 받은 환자의 척추 뼈 SPECT/CT 검사에서 골 시멘트는 CT 영상에 인공물을 발생시켰고, 평균계수와 CT

HU 값을 증가시켰다. 영상품질 향상을 위한 CT 보정 방법의 평가에서 평균계수는 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 순으로 증가하였고, 대조도 비는 NAC, AC+SC-, AC+SC+ 순으로 증가하였다. AC+SC-의 적용은 영상계수를 대폭 향상시켜 골절부의 농도(density)가 높은 영상획득이 가능하였지만 산란계수의 증가까지 가져왔다. 또한 AC+SC+의 적용은 골 시멘트 등으로 인한 영상잡음 산란계수를 배제함으로써 계수차이가 발생하였고 평균계수의 증가가 AC+SC-보다는 적었다. 특히 배후방사능(연조직)의 산란계수만을 더 많이 배제시킴으로써, 골절부와 연조직간의 평균계수 편차를 증가시키고 B/S ratio를 대폭 향상시켰다. 따라서 PVP 시행 환자의 척추압박골절 평가에 있어 CT 보정 방법의 적용은 감쇠보정과 감쇠 및 산란보정의 병행을 통하여 정확한 진단평가에 유용할 것으로 사료된다.

요 약

인구의 고령화와 함께 골다공증성 척추압박골절 환자의 발병률은 매년 증가하는 추세이며 경피적 척추성형(percutaneous vertebroplasty, PVP)은 가장 많이 시행되는 표준화된 치료 방법이다. 시술 전·후의 정확한 진단평가에 있어 SPECT/CT 검사의 유용성이 우수하다는 연구 보고가 있으나 시술에 사용되는 골 시멘트(bone cement) 물질은 CT 영상에서 인공물(artifact)을 생성하여 영상품질에 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 골 시멘트가 SPECT/CT 영상에 미치는 영향을 평가하는 데 목적을 두었다.

NEMA-1994 팬텀(phantom)에 배후방사능(3.6 kBq/ml), 열소(29.6 kBq/ml), 냉소(물)를 설정한 후 각 원통(cylinder)에 모형 시멘트를 삽입하여 영상 획득하였다. Astonish (Iterative: 4, Subset: 16)으로 재구성하였고, CT 보정 방법은 비감쇠보정(NAC), 감쇠보정(AC+SC-), 감쇠 및 산란보정(AC+SC+) 3가지 방법을 사용하였다. 각각의 보정방법에 따른 평균계수와 시멘트물질의 유·무에 따른 계수 변화율을 비교하고 대조도 회복 계수(contrast recovery coefficient, CRC)를 구했다. 또한, 압박골절 진단을 받은 환자 107명 중 PVP를 시행한 20명을 선별하여 추체를 골절, 정상, 시멘트로 나누고 연조직(척추기립근)을 포함 4곳의 평균 계수를 측정하고 후, 뼈/연조직 간 계수 비(bone/soft tissue ratio, B/S ratio)를 구했다.

NAC를 기준으로 AC+SC-, AC+SC+의 평균계수는 증가하였고, AC+SC-의 평균계수가 가장 높았으며, AC+SC+는 AC+SC-에 비해 상대적으로 낮았다. 시멘트 물질의 유·

무에 따른 평균계수는 시멘트가 존재할 때 NAC, AC+SC-, AC+SC+에 따라 팬텀의 열소에서 12.4%, 6.5%, 1.5%, 냉소 75.2%, 85.4%, 102.9%, 배후방사능 13.6%, 18.2%, 9.1%, 임상영상의 골절부에서 33.1%, 41.4%, 63.5%, 정상부 53.1%, 61.6%, 67.7%, 연조직 10.0%, 4.7%, 3.6%의 증가율을 보였다. 반면 원통 내부의 시멘트 인접부에서 상대적 계수감소를 확인할 수 있었고, 병소에 대한 팬텀영상과 임상영상간의 계수 증가율은 상반된 양상을 보였다. 대조도 비를 나타내는 CRC와 B/S ratio는 NAC, AC+SC-, AC+SC+순으로 향상되었고, 팬텀의 냉소에서는 큰 변화 없이 일정하였다. 정량적 계수는 AC+SC-가, 대조도 비는 AC+SC+가 가장 높게 분석되었다.

PVP 시행 환자의 척추 뼈 SPECT/CT 검사에서 AC+SC-의 사용은 영상계수를 대폭 향상시켜 특히 병소의 농도가 높은 영상을 얻는 반면에 골 시멘트의 영향과 함께, 연부조직 및 산란영역의 영상잡음 계수까지 증가시키므로 대조도 비를 향상시키는 AC+SC+의 적용을 병행한다면 임상진단에 유용할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie*. 1987;33:166-168.
- Kaemmerlen P, Thiesse P, Jonas P, Bérard CL, Duquesnel J, Bascoulegue Y, et al. Percutaneous injection of orthopedic cement in metastatic vertebral lesions. *N Engl J Med* 1989;321: 121.
- Rapado A. General management of vertebral fractures. *Bone* 1996;18:191S-196S
- Jensen ME, Evans AJ, Mathis JM, Kallmes DF, Cloft HJ, Dion JE: Percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures: technical aspects. *Am J Neuroradiol* 1997;18:1897-1904.
- Eichholz KM, O'Toole JE, Christie SD, Fessler RG. Vertebroplasty and kyphoplasty. *Neurosurg Clin N Am* 2006;17:507-518.
- Kush Kumar, Raghuveer K Halkar, Scott C Bartley, and David M Schuster. Incremental benefit of SPECT+CT bone scans over conventional planar and SPECT bone scans in vertebroplasty. *Indian J Nucl Med* 2011;26:181-184.
- 통계청(statistics korea, www.kostat.go.kr). Available at: [http://kosis.kr/gen_etl/start.jsp?orgId=101&tblId=DT_11N0001_ENG&conn_path=I2&path=인구·가구-인구총조사-인구부문-총조사인구총괄-총조사인구총괄\(시도/성/연령별\)](http://kosis.kr/gen_etl/start.jsp?orgId=101&tblId=DT_11N0001_ENG&conn_path=I2&path=인구·가구-인구총조사-인구부문-총조사인구총괄-총조사인구총괄(시도/성/연령별)). Accessed Sep. 2013
- 통계청(statistics korea, www.kostat.go.kr). Available at: [http://kosis.kr/gen_etl/start.jsp?orgId=101&tblId=DT_1B01001&conn_path=I2&path=인구·가구-추계인구·가구-장애인구추계-전국\(2010\)-인구성장시나리오](http://kosis.kr/gen_etl/start.jsp?orgId=101&tblId=DT_1B01001&conn_path=I2&path=인구·가구-추계인구·가구-장애인구추계-전국(2010)-인구성장시나리오). Accessed Sep. 2013.
- 건강보험심사평가원(health insurance review & assessment service), 권의정. 뼈가 약해지는 '골다공증', 고령 환자 크게 늘어나. Available at: http://www.hira.or.kr/dummy.do?pg_mid=HIRAA020041000000&cmsurl=/cms/notice/02/1316013_13390.html. Published Jan, 2013. Accessed Sep, 2013.
- Ryan PJ, Fogelman I. Osteoporotic vertebral fractures: diagnosis with radiography and bone scintigraphy. *Radiology* 1994; 190:669-672.
- Lee KJ, Lee MR, Cho YH, A Study on Safety Awareness and Accidents in Elders. *J Korean Gerontol Nurs* 20008;10:48-57.
- Lim JY, Park WB, Oh MK, Kang EK, Paik NJ. Falls in a Proportional Region Population in Korean Elderly: Incidence, Consequences, and Risk Factors. *J Korean Geriatr Soc* 2010;14: 8-17.
- Solá M, Pérez R, Cuadras P, Díaz R, Holgado S, Puyalto P, Iborra M, Fraile M. Value of bone SPECT-CT to predict chronic pain relief after percutaneous vertebroplasty in vertebral fractures. *Spine J* 2011;11:1102-1107.
- Chidambaram NBH, Bhagwant RM, Anish B, Paramjeet S, Ramesh S. Utility of single photon emission computed tomography/computed tomography imaging in evaluation of chronic low back pain. *Indian J Nucl Med* 2012; 27:156-163.