

## 골절 평가에 있어서 삼차원 디지털 회전 영상에 관한 연구<sup>1</sup>

정세민 · 이민희<sup>2</sup> · 곽현주 · 이영래 · 국신호 · 박해원 · 문원진 · 김승권 · 정은철

**목적:** 골절 평가에 있어서 삼차원 디지털 회전 영상(three dimensional digital rotational imaging, 3D DRI)의 적용 가능성과 유용성을 알아보고자 하였다.

**대상과 방법:** 임상적으로 골절로 진단되거나 의심된 총 16명에서 골절 병변 혹은 의심 부위(7예의 척추, 3예의 골반, 슬관절 등 기타 골절6예)에 대해서 단순 촬영술, single detector helical CT(HiSpeed advantage, GE Medical Systems, Milwaukee, WIS)를 이용한 2D CT(절편 두께는 3 또는 5 mm, 피치는 1:1, bone algorithm)와 volume rendering 3D CT를 시행하고 3D DRI(Integris V-5000, Philips Medical Systems, The Netherlands)를 실시하여 얻어진 삼차원 영상에서 다면적 분할과 회색조 조작의 후처리를 적용하였다. 3D DRI를 단순 촬영, 2D CT, 3D CT와 비교 평가하였다.

**결과:** 3D DRI에서 정확하고 추가적인 정보를 얻을 수 있었던 것은 모두 14 예(88%)였다. 두 예는 3D DRI에서만 병변을 발견 하였고 한 예는 2D CT와 3D DRI 모두에서 병변을 발견하였다. 삼차원 영상에 대한 평가에 있어 16예 모두에서 3D DRI가 3D CT 보다 정확하고 많은 정보를 얻을 수 있었다. 단순 촬영 혹은 전산화 단층 촬영에서 골절이 발견된 13예 중 한 예를 제외한 12예(92%)에서 3D DRI는 골절의 분류에 영향을 주지 않았다.

**결론:** 3D DRI는 디지털 회전 영상에서 후처리가 가능한 삼차원 영상을 획득함으로써 정확한 해부학적 공간 해석력으로 빠르고 쉽게 골절을 진단하고 평가할 수 있다.

골절을 진단하고 평가함에 있어서 다양한 방사선학적 검사법들을 이용해 왔다. 일차적으로 고식적인 방법인 전후면, 측면 혹은 사위면을 포함한 단순 촬영술을 주로 이용하는데 단순 골절과는 달리 복합 골절의 경우 병변의 정확한 평가와 골절편의 유무 및 해부학적 관계를 결정하고 골절의 삼차원적 평가를 위해서는 더 많은 영상이 필요하다. 따라서 Single 혹은 multi-detector helical CT(SDCT 혹은 MDCT)를 이용한 다면적 재구성 영상 및 자기공명영상 역시 골절의 진단에 이용하고 있다(1-4).

본 연구에서 사용한 C-arm system은 주로 혈관조영술에 이용해 왔는데(5, 6) 최근에 개발된 디지털 감산 혈관조영술(digital subtraction angiography, DSA)중에 하나인 rotational DSA는 기존의 C-arm system에서 이차원적 디지털 영상들을 얻을 수 있고 다양한 후처리를 통해 3차원 영상 정보를 획득할 수 있다(7-9). 이러한 영상 획득 기법은 뇌동맥류의 평가와 혈관 내 치료에서 그 유용성을 보고한 바 있다(10).

최근 Patel 등은 digital C-arm system을 이용한 디지털 회전 혈관조영술(digital rotational angiography, DRA)와 디지털 회전 영상(digital rotational imaging, DRI)을 복합 비구 골절에 시행함으로써 골절과 그와 동반된 혈관 손상을 동시에 평가 하여 골격계 질환에 적용 가능성을 제시한 바 있다(11).

이러한 디지털 회전 영상에 다양한 후처리가 추가됨으로써 기존의 디지털 회전 영상은 더 나은 해상력을 가진 삼차원 영상으로 골절을 평가 할 수 있었다. 그 예로 El-Sheik 등은 6예의 복합 골절 연구에서 C-arm rotation system을 이용한 다면적 영상 재구성과 삼차원적 영상 획득 기법을 전산화 회전 골촬영술(computed rotational osteography, CRO)이라 명명 하였고 다면적 재구성 영상과 삼차원 영상 획득에 있어서 CT와 CRO를 비교하여 CRO가 더 높은 해상력을 제공한다는 결과를 보고 하였다(12).

본 연구는 삼차원적 회전 영상을 통해 골절을 평가하고 골절의 진단과 평가에 후처리로서 다면적 분할(multiplanar intersection)과 회색조 조작(gray scale manipulation)을 이용함으로써 3D DRI의 골격계 질환에 대한 적용 가능성과 유용성에 대하여 알아보고자 하였다.

<sup>1</sup>성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 방사선과

<sup>2</sup>성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 방사선과

이 논문은 2003년 6월 2일 접수하여 2003년 9월 16일에 채택되었음.

## 대상과 방법

### 연구 대상

대상 환자군은 총 16명으로 남녀 비는 14:2였으며 연령 분포는 16-70세로 모두 외상으로 인해 임상적으로 골절이 의심되는 환자를 대상으로 하였으며 골절이 확인된 16명의 골절 부위는 7예의 척추, 3예의 골반, 기타 관절 6예(knee, elbow, ankle, wrist, foot)였다(Table 1).

### 영상 획득

#### 단순 촬영, 2D 그리고 3D CT

모든 환자들에서 골절 의심 부위에 대한 단순 촬영을 실시하였고 두 예를 제외한 14예는 평균 3.6일(최소 0일-최대 13일)의 검사 간격으로 single detector helical CT(HiSpeed advantage, GE Medical Systems, Milwaukee, WIS)를 시행하였다. 단순 촬영에서 병변이 보인 예는 병변의 근위부에서 원위부까지 축면 스캔(절편 두께는 3 또는 5 mm, 피치는 1:1, bone algorithm)을 얻었으며 단순 촬영에서 병변이 보이지 않은 예는 의심 부위를 중심으로 근위부와 원위부에서 각각 5 cm까지를 스캔 범위에 포함시켰다. 모든 예에서 시상면과 관상면을 포함한 이차원 다면적 재구성 영상(sagittal and coronal reformation)을 획득하고 volume rendering을 이용한 삼차원 재구성 영상을 얻었다.

### 삼차원 디지털 회전 영상(Three dimensional digital rotational imaging, 3DDRI)

상기 14예에서 순차적으로 평균 1.9일(최소 0일-최소 10일)의 검사 간격으로 C-arm system을 이용한 삼차원 디지털 회전 영상(Integris V-5000, Philips Medical Systems, The Netherlands)을 실시하였다. 그러나 상기 14예외에 한 예는 임상 의의 판단에 의해 단순 촬영 후 자기공명영상으로 추적 검사를 하던 중 13일의 검사 간격을 가지고 3D DRI를 시행했으며 10일의 검사 간격으로 CT를 시행하였다. 또 다른 한 예는 먼저 CT를 시행한 후 4일 뒤 3D DRI를 시행했으며 19일 뒤 단순 촬영을 시행하였다.

본 연구에서 이용된 C-arm system은 총 8초 동안 초당 30도의 속도로 180도를 회전하여 약 100개의 영상(12.5 frames per second)을 만들고 얻어진 영상 정보들은 작업대(SGI Octane®), Silicone Graphics)로 전송되어 다양한 해상도( $64^3 \sim 256^3$  isotropic voxels)에 따라 15초에서 10분의 재구성 시간이 소요되었다. 얻어진 영상 정보들은 삼차원 영상으로 재구성할 수 있는 작업대에서 distortion correction, gain correction 및 CT line integrals로의 transformation 등의 교정 단계를 거치고(13, 14) 자동적으로 교정된 영상들은 modified filtered back projection cone-beam algorithm을 통해 real-time volume rendering 기법으로 표준 삼차원 영상(Standard 3D volume)을 만들었고 골과 연부 조직 사이의 대조도는 자동 회색조 조절에 의해 표현하였다(15).

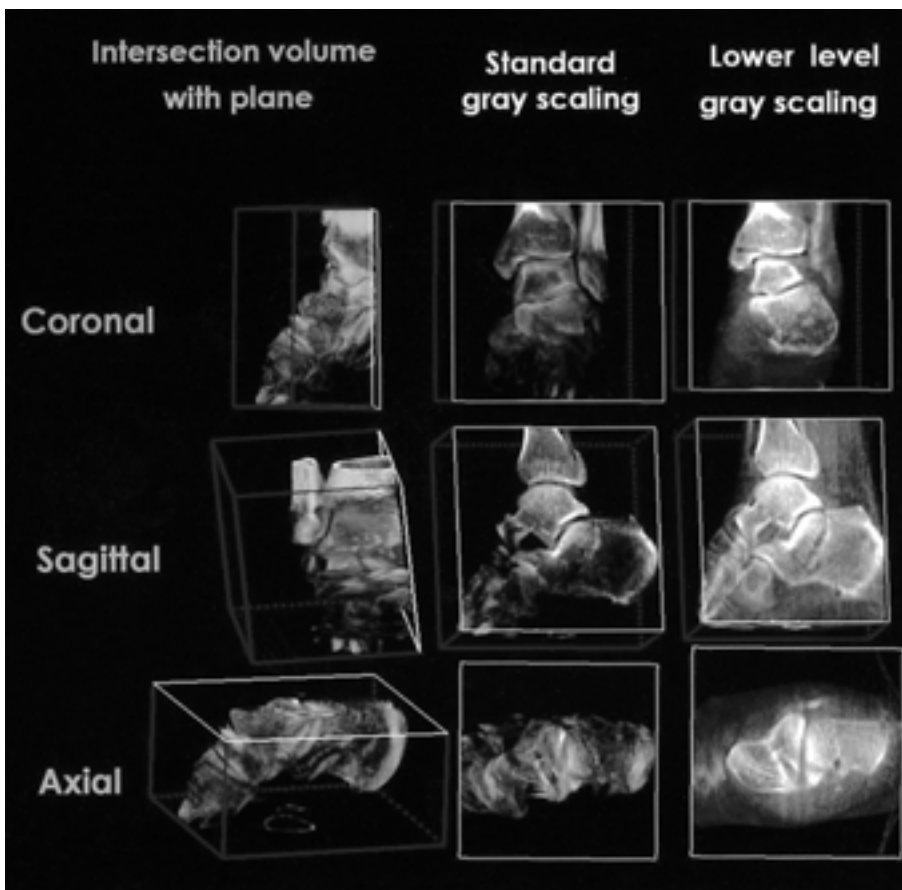


Fig. 1. Postprocessing using multiplanar intersection with gray scale manipulation. After multiplanar-coronal, sagittal and axial-intersection, gray scale manipulation is performed on the intersection plane.

표준 삼차원 영상은 작업대의 모니터상에서 다음과 같은 후처리를 하였는데 본 연구에 다면적 분할(multiplanar intersection)과 회색조 조작(gray scale manipulation)을 이용하였다.

#### 1) 다면적분할(multiplanar intersection)

초기의 표준 삼차원 영상을 어느 방향이든지 360도 회전 이동하여 원하는 부위에 이차원 분할면(intersection plane)을 설정한 뒤 마우스를 dragging하여 어느 방향에서나 다면적 영상을 얻었다(Fig. 1).

#### 2) 회색조조작(gray scale manipulation)

삼차원 영상에서 다면적 분할(multiplanar intersection)에 의해 얻어진 이차원 분할면의 회색조를 조절하여 피질골과 수질골의 대조도를 가진 영상을 얻었다(Fig. 2).

#### 영상분석

두 명의 방사선과 의사(한 명의 고년차 전공의와 한 명의 전문의)의 합의 하에 단순 촬영, CT 및 3D DRI에서 각각 골절을 분류하였는데(Table 1), 다음과 같은 자료에 근거하였다(tibial plateau fracture(Schatzker)(16), distal tibial fracture(Mast et al.)(17), pelvic fracture(Tile M)(18), acetabular fracture(Letournel & Judet)(19), fracture of coronoid

process(Regan & Morrey)(20), fracture of olecranon(Campbell)(21), fracture of cervical spine(Allen et al.)(22), fracture of odontoid process(Anderson & D'Alonzo)(23), fracture of lumbar spine(McAfee et al.)(24), fracture of calcaneus(Essex-Lopresti)(25), fracture of scaphoid(Russe)(26)).

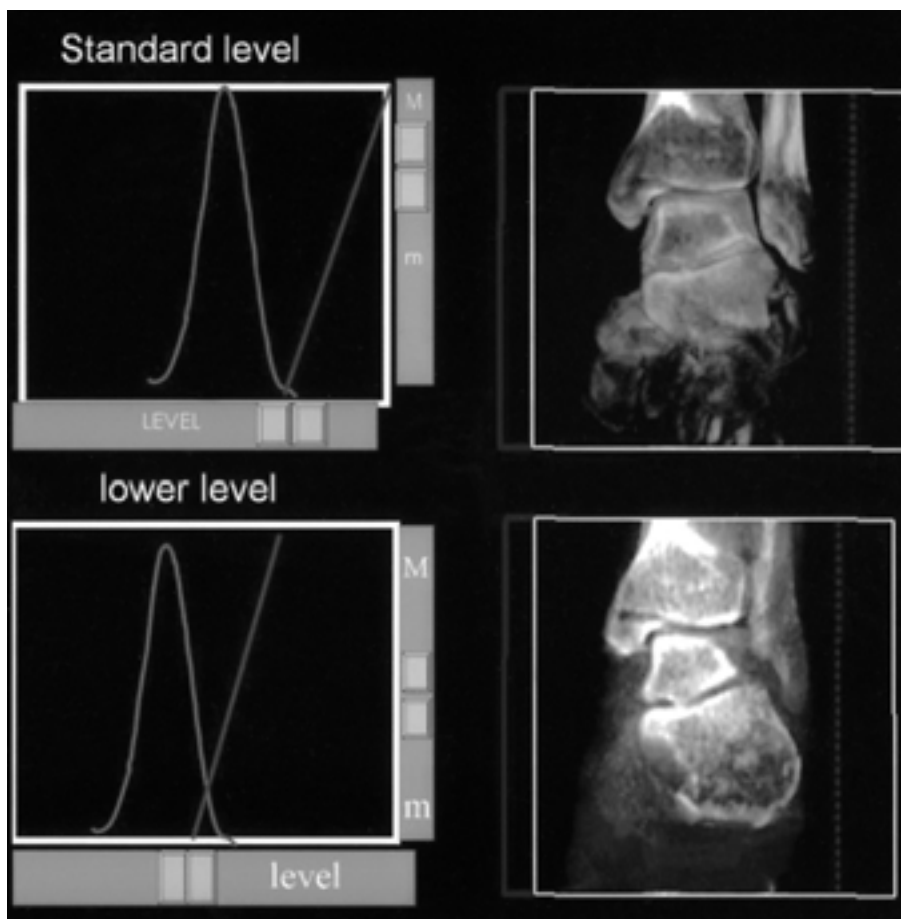
그리고 단순 촬영, 2D CT, 3D CT 그리고 3D DRI 순서대로 골절선, 골절면, 피질골과 수질골의 대조도, 골절의 공간적 해상도, 주변 연부 조직과의 대조도 및 추가 정보 획득 여부에 따라 다음과 같은 기준으로 골절을 단계적으로 비교 평가 하였다.

1) 0(poor visualization or disinterpretation): 골절선이나 골절면이 명확히 보이지 않거나 피질골과 수질골의 대조도, 주변 연부 조직과의 대조도 혹은 골절의 공간적 해상도를 평가할 수 없는 경우

2) +(ambiguous visualization): 골절선이나 골절면이 보이거나 피질골과 수질골의 대조도, 주변 연부 조직과의 대조도 혹은 골절의 공간적 해상도를 명확히 평가 할 수 없는 경우

3) ++(precise visualization): 골절선이나 골절면이 명확히 보이면서 피질골과 수질골의 대조도, 주변 연부 조직과의 대조도 혹은 골절의 공간적 해상도를 명확히 평가 할 수 있는 경우

4) +++(more precise visualization): 골절선, 골절면, 피질골과 수질골의 대조도, 주변 연부 조직과의 대조도 및 골절의 공간



**Fig. 2.** Postprocessing using gray scale manipulation. The initial intersection plane shows the standard level of gray scale by auto gray scaling. The contrast resolution between the cortex and medulla on initial intersection plane is not better than that of bony algorithm on CT scan. On lowering level of gray scale, the contrast resolution between the cortex and medulla is more improved than that on standard level of gray scale.

적 해상도의 월등한 향상 외에 추가 정보를 얻을 수 있는 경우

## 결 과

단순 촬영 혹은 CT에서 병변이 없었던 3예(case 6, 7, 10)를 제외하고 단순 촬영에서 골절이 있었던 13예 중에 단순 촬영에서 췌기형 압박 골절로 분류 하였으나 CT와 3D DRI에서 stable burst fracture로 분류한 1예를 제외하고 12예(92%)에서 3D DRI는 골절의 분류에 영향을 미치지 않았다(Table 1). 그러나 16예의 골절에서 단순 촬영, 2D 혹은 3D CT와 3D DRI를 비교한 결과 3D DRI에서 명확하고 추가적인 정보를 얻었던 것은 모두 14예(88%)에 해당하였다(Table 2).

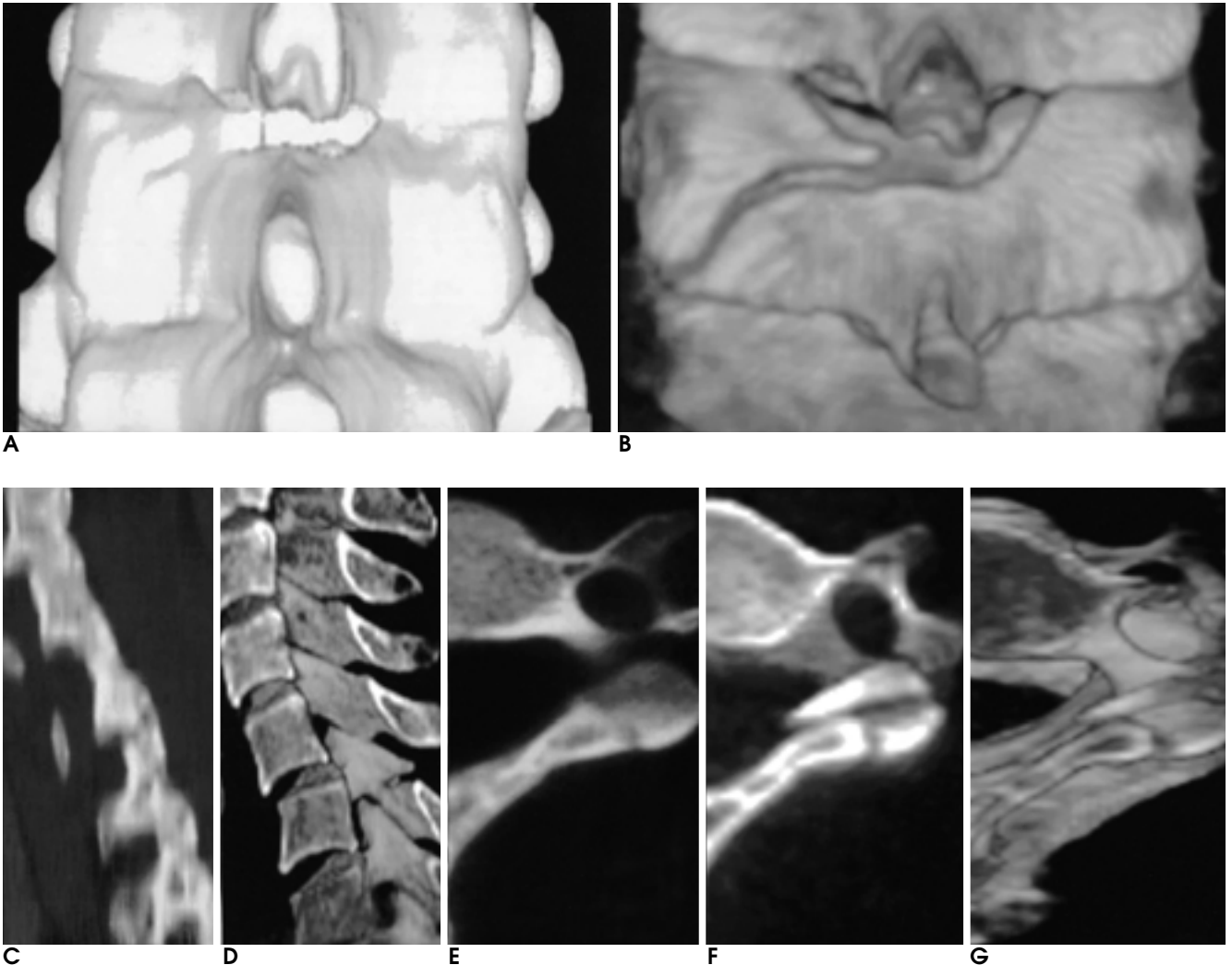
이중 3예에서 단순촬영에 병변이 없었는데 2예에서 3D DRI에서만 병변이 있었고 나머지 1예는 2D CT와 3D DRI 모두에서 병변이 있었으나 3D DRI가 병변의 평가에 더욱 유용하였다. 그러나 3D DRI의 회색조 조작을 이용한 피질골과 수질

골의 대조도는 CT의 골연산(bone algorithm)에서와 유사하였으나 3D DRI는 주변 연부 조직과의 대조도를 볼 수 없었다. 하지만 삼차원 영상에 대한 평가에 있어 16예 모두는 3D DRI가 3D CT 보다 골절의 공간 해석력에 대해 정확하고 추가적인 정보를 얻었으며 특히 8예는 3D CT에 병변이 없었는데 3D DRI에서 진단할 수 있었다.

## 고 찰

방사선학적으로 골절을 진단하고 평가함에 있어 고식적으로 전후면, 측면 혹은 사위면을 포함하는 단순 촬영을 이용해 왔다. 그러나 이러한 고식적인 방법은 영상의 왜곡과 확대 및 골절편의 중복 때문에 골절의 정확한 평가에 제한이 있으며 (27) 보다 정확한 병변의 진단과 공간적 평가를 위해서 CT 및 MRI를 이용하였다(1-4).

Haveri 등(28)은 복합 비구 골절의 진단과 평가에 다면적



**Fig. 3.** 37-year-old woman (case No.10) with the fracture (arrow) of left posterior element of C6. The posterior views of 3D CT (A) and sagittal 2D CT scan (C) reveal no evidence of fracture. But, the fracture (arrow) is detectable only on posterior 3D volume (B) and sagittal intersection plane of 3D DRI (D). Axial bone setting window of CT (E) shows the fracture (arrow) suspiciously which is seen on the axial intersection with lower level of gray scaling (F) and standard volume (G) of 3D DRI.

**Table 1.** Classification of Fractures on Conventional Radiography, CT (2D or 3D) and 3D DRI

Case No.	Fracture site	Conventional Radiography	CT (2D or 3D)	3D DRI
1	Tibial plateau	Type IV	Type IV	Type IV
2	Distal tibia	Type III	Type III	Type III
3	Pelvis, acetabulum	Type A2, B	Type A2, B	Type A2, B
4	Calcaneus	Type E	Type E	Type E
5	Lumbar spine	Wedge compression	Stable burst	Stable burst
6	Proximal ulna, coronoid & olecranon	-	Type II, Type I	Type II, Type I
7	Carpal, scaphoid	-	-	Type II
8	acetabulum	Type C	Type C	Type C
9	Cervical spine, odontoid process	Type II	Type II	Type II
10	Cervical spine, posterior element	-	-	CE stage I
11	Pelvis	Type A2	Type A2	Type A2
12	Lumbar spine	Unstable burst	Unstable burst	Unstable burst
13	Cervical spine, odontoid process	Type II	Type II	Type II
14	Lumbar spine	Unstable burst	Unstable burst	Unstable burst
15	Lumbar spine	Wedge compression	Wedge compression	Wedge compression
16	Lumbar spine	Wedge compression	Wedge compression	Wedge compression

**Table 2.** Detection, Characterization and Comparison of Fractures on Conventional Radiography, 2D or 3D CT and 3D DRI

Case No.	Conventional Radiography	CT		3D DRI
		2D	3D	
1	+	++	+	+++
2	+	++	0	++
3	+	+	0	++
4	++	+++	+	+++
5	+	++	+	+++
6	0	+	0	+++
7	0	0	0	+
8	+	++	+	+++
9	+	+	0	++
10	0	0	0	++
11	+	+	0	++
12	+	+	0	++
13	+	+	++	+++
14	+	+	+	+++
15	+	+	++	+++
16	+	+	++	+++

0 = poor visualization or disinterpretation

+ = ambiguous visualization, ++ = precise visualization

+++ = more precise visualization)

2D CT를 적용하여 다면적 2D CT가 골절의 분류에 영향을 주지 않았으나 진단의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 또한 Wicky 등(3)은 tibial plateau fracture의 평가와 분류에 단순 촬영과 3D CT를 비교한 결과 18예(43%)에서 3D CT로 더욱 정확한 분류가 가능하였으며 더욱 명확하게 골절을 발견할 수 있었다. 이외에 골 손상뿐만 아니라 골절과 연관된 연부 조직 손상의 평가에 MRI를 이용해 왔으며(29, 30) Lawler 등은 MDCT를 이용한 삼차원 영상을 골절의 평가에 적용하였다(4).

이밖에도 골절의 해부학적 공간적 해상력을 높이기 위해 더 나은 영상 획득을 위한 노력의 결과 최근 Patel등은 복합 비구

골절 평가에서 DRA와 DRI를 이용함으로써 골절 및 동반된 혈관 손상을 동시에 평가하여 골격계 질환에의 적용을 제시하였다. 이제까지 DRI는 뇌혈관 질환에 주로 이용해 왔는데 삼차원적 영상 획득 프로그램의 발전으로 뇌동맥류의 진단과 뇌혈관 중재적 시술에서 Anxionnat 등이 3D DRI의 유용성을 보고하였으며 골격계 영역에서 El-Sheik 등은 CT보다 우수한 공간 해상력을 얻을 수 있다고 보고하였다.

본 연구는 앞서 언급한 Patel등의 이차원적 DRI를 통해 골절 평가의 유용성을 보고한 것과는 달리 연구에 이용된 삼차원적 영상 획득 기법을 삼차원 디지털 회전 영상(three dimensional digital rotational imaging, 3D DRI)으로 기술하였고 삼차원적 회전 영상을 통해 골절을 평가하였다. 또한 El-Sheik 등이 C-arm rotation system을 이용한 삼차원적 영상 획득 기법의 공간적 그리고 해부학적 해상력의 우수성을 보고하였으나 후처리 과정에 대한 연구 및 고찰을 제외하였던 것과는 달리 본 연구는 골절의 진단과 평가에 후처리를 다면적 분할(multiplanar intersection)과 회색조 조작(gray scale manipulation)을 이용하여 3D DRI가 기존의 영상 검사로 진단하지 못한 골절의 발견과 이미 진단한 골절의 빠르고 쉽고 정확한 해부학적 공간적 해석을 가능케 함을 알 수 있었다. 이러한 공간 해상력의 우수성에도 불구하고 회전 영상은 골절의 분류에 영향을 미치지 않았으며 앞서 언급된 Patel 등과 El-Sheik 등의 연구와 같은 결과였다. 최근에 Kotsianos 등(31)의 연구에서 3D DRI와 CT에서 골절 분류에 차이가 없었음은 기존의 결과 및 저자의 결과(98%)와도 일치한다.

본 연구에서 3D DRI의 우수한 공간 해상력은 real time volume rendering을 이용한 회색조 조작과 다면적 분할이라는 후처리를 통해 가능하였다. 회색조 조작은 voxel histogram에서 window width와 level을 조정하여 검사자는 획득된 삼차원 영상의 window 변화를 실시간으로 볼 수 있다(32).

DSA에서는 주로 후처리 기법으로서 회색조 조작의 window width를 조작함으로써 혈관의 더 나은 해부학적 구조를 구현

해 왔는데 (10) 저자의 경우 window level를 조작함으로써 피질골과 수질골 사이의 대조도를 이용하여 골의 해부학적 구조를 구현할 수 있었다.

또 하나의 후처리 기법인 다면적 분할은 3D CT에서 영상 표시에 이용되는 fly-through 및 fly-around와 유사한 방법으로 검사자는 획득된 삼차원 영상을 원하는 방향과 각도로 자유롭게 회전 (fly-around)할 수 있으며 선택된 방향과 각도에서 분할면을 중심으로 영상을 순차적으로 이동 (fly-through)할 수 있다 (32).

이러한 3D DRI의 후처리 기법들은 다음과 같은 의미를 갖는다. 먼저 다면적 분할의 경우 병변의 삼차원 단일 영상에서 이차원 평면 영상을 동시에 구현하여 병변의 공간 해석력을 향상 시켰으며 (Fig. 3A-D) 또 하나의 후처리 기법인 회색조 조작의 경우는 2D CT의 골연산에서와 유사하게 병변의 해부학적 정보를 골질의 평가에 이용하였다 (Fig. 3E-G). 결과적으로 다면적 분할을 통해 빠르고 정확하며 다양한 공간 해석을 하며 동시에 회색조를 조작함으로써 병변의 해부학적 평가를 가능케 하여 골질의 평가에 도움을 주었다.

그러나 이러한 회색조 조작으로 3D DRI는 CT의 골연산에서 처럼 피질골과 수질골 사이에서는 폭넓은 대조도를 보였으나 CT의 골연산과는 달리 골과 연부 조직 사이의 대조도를 구현하지 못하였다. 그 결과 3D DRI의 대조 해상력은 CT에 비해 우수하지 않았으나 후처리 프로그램이 발전하면 3D DRI의 회색조 대조도의 한계를 점차 개선할 수 있으리라고 생각된다.

무엇 보다도 3D DRI의 가장 큰 장점은 약 8초의 짧은 검사 소요 시간과 피검자는 자세 변화 없이 편안하게 검사를 받을 수 있고 검사자는 빠르고 쉽게 정확한 해부학적 공간 해석력으로 병변을 진단하고 평가 할 수 있다는 점이다.

또한 C-arm system은 골격계 질환의 진단 뿐만 아니라 척추 성형술과 같은 중재적 시술에서도 이용해 왔는데 (33) 특히 척추 성형술 바로 직후 투시와 CT의 장점이 결합된 3D DRI의 후처리를 이용함으로써 시술 평가가 가능하리라 생각한다.

본 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한 점이 있다. 첫째, 단순 촬영, 2D 혹은 3D CT와 3D DRI의 비교에 있어 검사 방법간의 유용성에 대한 통계적 검증은 본 연구에 포함하지 않았기 때문에 검사 방법간 독립된 통계적 유의성을 가진 결과를 도출하지 못하였고 대상군 선정에 있어 단순 촬영, CT 그리고 3D DRI 모두에서 특이할 만한 소견이 없는 예를 제외함으로써 3D DRI의 진단률과 정확도를 높인 점이다. 추후 3D DRI가 골격계 영역에서 일반적으로 적용될 때 3D DRI의 통계학적 유용성에 대한 연구가 이를 보완할 수 있다.

둘째는 3D CT와 3D DRI의 삼차원 영상에 대한 비교에서 본 연구에 이용된 SDCT의 재구성 프로그램의 낙후성으로 인해 상대적으로 3D DRI의 삼차원 영상의 질이 우수하였다. 이 점 역시 프로그램의 진보와 MDCT의 적용으로 보다 정확한 비교가 될 것이다.

결론적으로 3D DRI는 골질을 진단하고 평가하는데 있어서 다면적 분할과 회색조 조작의 후처리를 이용한 삼차원 영상을 획득함으로써 빠르고 쉽게 정확한 해부학적 공간 해석력을 제

공하였으며 나아가 골격계 중재적 시술 직후 평가에 효과적인 적용을 기대할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Kode L, Lieberman JM, Motta AO, Wilber JH, Vasen A, Yagan R. Evaluation of tibial plateau fractures: efficacy of MR imaging compared with CT. *AJR Am J Roentgenol* 1994;163:141-147
2. Liow RY, Birdsall PD, Mucci B, Greiss ME. Spiral computed tomography with two- and three-dimensional reconstruction in the management of tibial plateau fractures. *Orthopedics* 1999;22:929-932
3. Wicky S, Blaser PF, Blanc CH, Leyvraz PF, Schnyder P, Meuli RA. Comparison between standard radiography and spiral CT with 3D reconstruction in the evaluation, classification and management of tibial plateau fractures. *Eur Radiol* 2000;10:1227-1232
4. Lawler LP, Corl FM, Fishman EK. Multi- and single detector CT with 3D volume rendering in tibial plateau fracture imaging and management. *Crit Rev Comput Tomogr* 2002;43:251-82
5. Anxionnat R, Bracard S, Macho J, et al. 3D angiography. Clinical interest first applications in interventional neuroradiology. *J Neuroradiol* 1998;25:251-262
6. Missler U, Hundt C, Wiesmann M, Mayer T, Bruckmann H. Three-dimensional reconstructed rotational digital subtraction angiography in planning treatment of intracranial aneurysms. *Eur Radiol* 2000;10:564-568
7. Fahrig R, Fox AJ, Lownie S, Holdsworth DW. Use of a C-arm system to generate true three-dimensional computed rotational angiograms: preliminary in vitro and in vivo results. *AJNR Am J Neuroradiol* 1997;18:1507-1514
8. Schueler BA, Sen A, Hsiung HH, Latchaw RE, Hu X. Three-dimensional vascular reconstruction with a clinical x-ray angiography system. *Acad Radiol* 1997;4:693-699
9. Grass M, Koppe R, Klotz E, et al. Three-dimensional reconstruction of high contrast objects using C-arm image intensifier projection data. *Comput Med Imaging Graph* 1999;23:311-321
10. Anxionnat R, Bracard S, Ducrocq X, et al. Intracranial aneurysms: clinical value of 3D digital subtraction angiography in the therapeutic decision and endovascular treatment. *Radiology* 2001;218:799-808
11. Patel NH, Hunter J, Weber TG, Routt ML Jr. Rotational imaging of complex acetabular fractures. *J Orthop Trauma* 1998;12:59-63
12. El-Sheik M, Heverhagen JT, Alfke H, et al. Multiplanar reconstructions and three-dimensional imaging (computed rotational osteography) of complex fractures by using a C-arm system: initial results. *Radiology* 2001;221:843-849
13. Liu RR, Rudin S, Bednarek DR. Superglobal distortion correction for a rotational C-arm x-ray image intensifier. *Med Phys* 1999;26:1802-1810
14. Fahrig R, Holdsworth DW. Three-dimensional computed tomographic reconstruction using a C-arm mounted XRRI: image-based correction of gantry motion nonidealities. *Med Phys* 2000;27:30-38
15. Moret J, Kemkers R. 3D rotational angiography: clinical value in endovascular treatment. *Medicamundi* 1998;42:8-14
16. Schatzker J, McBroom R, Bruce D. The tibial plateau fracture. The Toronto experience 1968-1975. *Clin Orthop* 1979;138:94-104
17. Mast JW, Spiegel PG, Pappas JN. Fractures of the tibial pilon. *Clin Orthop* 1988;230:68-82
18. Tile M. Acute pelvic fractures: I. causation and classification. *J Am Acad Orthop Surg* 1996;4:143-151
19. Letournel E, Judet R. *Fractures of the acetabulum*. New York:

- Springer-Verlag, 1981
20. Regan W, Morrey B. Fractures of the coronoid process of the ulna. *J Bone Joint Surg Am* 1989;71:1348-1354
21. Canale ST. *Campbell's Operative Orthopaedics*. St.Louis: Mosby, 1998:2324
22. Canale ST. *Campbell's Operative Orthopaedics*. St.Louis: Mosby, 1998:2711-2712
23. Anderson LD, D'Alonzo RT. Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg Am* 1974;56(8):1663-1674
24. Leventhal MR. *Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of spine*. In Canale ST. *Campbell's Operative Orthopaedics*. 9th ed. St. Louis: Mosby, 1998:2704-2790
25. Murphy GA. *Fractures and dislocations of foot*. In Canale ST. *Campbell's Operative Orthopaedics*. 9th ed. St.Louis: Mosby, 1998: 1924-1971
26. Greenspan A. *Orthopedic Radiology*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999:151-195
27. Scott WW Jr, Fishman EK, Magid D. Acetabular fractures: optimal imaging. *Radiology* 1987;165:537-539
28. Haveri M, Junila J, Suramo I, Lahde S. Multiplanar and 3D CT of acetabular fractures. *Acta Radiol* 1998;39:257-264
29. Kode L, Lieberman JM, Motta AO, Wilber JH, Vasen A, Yagan R. Evaluation of tibial plateau fractures: efficacy of MR imaging compared with CT. *AJR Am J Roentgenol* 1994;163:141-147
30. Brophy DP, O'Malley M, Lui D, Denison B, Eustace S. MR imaging of tibial plateau fractures. *Clin Radiol* 1996;51:873-878
31. Kotsianos D, Rock C, Wirth S, et al. Detection of tibial condylar fractures using 3D imaging with a mobile image amplifier (Siemens ISO-C-3D): comparison with plain films and spiral CT. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 2002;174:82-87
32. Calhoun PS, Kuszyk BS, Heath DG, Carley JC, Fishman EK. Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics* 1999;19:745-764
33. Chiras J, Depriester C, Weill A, Sola-Martinez MT, Deramond H. Percutaneous vertebral surgery. Technics and indications, *J Neuroradiol* 1997;24:45-59

## Three Dimensional Digital Rotational Imaging in the Evaluation of the Fractures<sup>1</sup>

Semin Chong, M.D., Min Hee Lee, M.D.<sup>2</sup>, Hyon Joo Kwag, M.D., Young Rae Lee, M.D.,  
Shin-Ho Kook, M.D., Hae Won Park, M.D., Woo-Jin Moon, M.D.,  
Seung Kwon Kim, M.D., Eun Chul Chung, M.D.

<sup>1</sup>Department of Radiology, Kangbuk Samsung Hospital, SungKyunKwan University School of Medicine

<sup>2</sup>Department of Diagnostic Radiology, Samsung Medical Center, SungKyunKwan University School of Medicine

**Purpose:** To evaluate the usefulness and the application of three dimensional digital rotational imaging (3D DRI) by the evaluation of fractures.

**Materials and Methods:** Sixteen patients with clinically diagnosed or suspicious fracture were involved in this study. The lesion or suspicious sites of all 16 cases were spines ( $n=7$ ), pelvis ( $n=3$ ) and so on ( $n=6$ ; knee, elbow, ankle, wrist and foot). In all cases, conventional radiography, multiplanar 2D (slice thickness/pitch = 3 or 5 mm/1:1) and volume rendering 3D reconstructed single detector helical CT (HiSpeed Advantage, GE Medical Systems, Milwaukee, WIS) scans and 3D DRI (Integris V-5000, Philips Medical Systems, The Netherlands) with multiplanar intersection and gray scaling as postprocessing technique were performed. 3D DRI was evaluated and compared with conventional radiography, multiplanar 2D CT and volume rendering 3D CT.

**Results:** 3D DRI provided more detail and additional information in 14 cases (88%), comparing with 2D and 3D CT scans. Two fractures were revealed only on 3D DRI other than conventional radiography and CT scans and one case was revealed on 2D CT and 3D DRI. In all cases, we could acquired more detail and additional information from 3D DRI than from 3D CT in the acquisition of 3D imaging. 3D DRI didn't change the classification of fracture in 12 of 13 cases (92%), which revealed the fracture on the conventional radiography or CT.

**Conclusion:** 3D DRI can diagnose and evaluate the fracture rapidly and easily with anatomical and spatial resolution by acquisition of 3D imaging with postprocessing using DRI.

**Index words :** Bones, fractures

Bones, CT

Computed tomography (CT), three-dimensional

Images, three-dimensional

Address reprint requests to : Min Hee Lee, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 50 Ilwon-dong, Kangnam-gu, 135-710 Seoul, Korea.  
Tel. 82-2-3410-0511 Fax. 82-2-3410-0084 E-mail: mhlee27@hotmail.com