

의학 석사학위 논문

늑골 골절의 3차원 CT 진단의
영상기법에 관한 연구

아주대학교 대학원

의학과

김태희

늑골 골절의 3차원 CT 진단의
영상기법에 관한 연구

지도교수 박 경 주

이 논문을 의학 석사학위 논문으로 제출함.

2005년 7월

아 주 대 학 교 대 학 원

의 학 과

김 태 희

김태희의 의학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 박 경 주 인

심 사 위 원 원 제 환 인

심 사 위 원 최 영 화 인

아 주 대 학 교 대 학 원

2005년 7월 1일

늑골 골절의 3차원 CT 진단의 영상기법에 관한 연구

늑골 골절은 흉부 외상 환자에서 비교적 흔하게 발생하며 여러 가지 합병증을 일으킬 수 있다. 하지만 단순 흉부 촬영의 늑골 골절 진단율은 매우 떨어지며, CT의 측면영상을 이용한 진단은 시간과 노력이 많이 들어가는 단점이 있다. 따라서 다중 검출 전산화 단층 촬영의 3차원 영상인 volume rendering 기법을 이용하여 늑골 골절을 진단할 때 가장 높은 민감도와 효율성을 가지기 위한 절편 두께와 재구성 간격을 알아보려고 하였다.

아주대학교 병원 응급실로 내원하여 흉부 다중 검출 전산화 단층촬영을 시행한 흉부 외상 환자 30명의 기초자료 (raw data)로부터 3 종류의 측면 영상을 재구성하여 4종류의 3차원 영상을 재구성하였다. 절편 두께 2mm/간격 1mm로부터 만들어진 volume rendering 영상을 VR1, 절편 두께 1mm/간격 1mm인 경우 VR2, 절편 두께 1mm/간격 0.5mm인 경우 VR3, 절편 두께 2mm/간격 1mm를 좌,우측 따로 재구성한 영상을 VR1'로 하였다. 3차원 영상은 두 명의 판독자가 독립적으로 환자에 대한 정보 없이 판독하였고, 늑골 골절의 여부와 골절의 위치, 영상 질의 정도에 대해서 평가하였다. Gold standard로는 절편 두께 1mm/간격 0.5mm의 측면영상을 두 명의 영상의학과 전문의가 합의 하에 판독한 결과를 기본으로 하고, 3차원 영상과 핵의학 영상, 단순 촬영의 결과를 참고한 것으로 하였다.

VR1,2,3,를 비교하였을 때, 판독자 1은 VR3에서 60.3%로 가장 높은 민감도를 보였고, 판독자 2는 VR2,3에서 66.7%로 가장 높은 민감도를 보였다.

판독자 1과 2 모두에서 VR3는 VR1보다 의미있게 높은 민감도를 보였고 ($p=0.000$), 판독자 1은 VR2와 VR3($p=0.001$), 판독자 2는 VR1과 VR2에서 각각

의미있는 민감도의 차이가 있었다($p=0.000$). VR1과 VR1'를 비교하였을 때 두 명의 판독자 모두에서 VR1'에서 의미있게 높은 민감도를 보였다($p=0.000$).

두 명의 판독자가 모든 영상 기법에서 전위 골절의 민감도가 비전위 골절이나 불완전 골절의 민감도보다 높았다. 골절의 위치에 따른 민감도는 전궁 골절의 민감도가 측궁 골절이나 후궁 골절인 경우보다 상대적으로 낮았다.

영상의 질에 따른 민감도는 두 명의 판독자가 모든 영상 기법에서 1점인 경우가 2,3점인 경우보다 낮았다.

이 결과는 절편 두께 1mm/ 절편 간격 0.5mm의 측면 영상으로부터 재구성한 volume rendering 영상과 두께 2mm/ 간격 1mm의 측면 영상으로부터 좌,우측을 각각 재구성한 영상에서 높은 민감도를 보이고 있기 때문에, 절편 두께 1mm/ 절편 간격 0.5mm의 측면 영상으로부터 좌,우측을 각각 재구성 하게 되면 늑골 골절 진단의 정확도가 높아질 수 있을 것으로 기대된다.

핵심되는 말 : 늑골 골절, volume rendering, 민감도, 절편 두께, 재구성 간격

차 례

국문요약	i
차례	iii
그림차례	iv
표차례	v
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	3
A. 대상	3
B. 영상기법	3
C. 영상 판독 및 결과 분석	6
III. 결과	7
A. 누골 골절의 빈도	7
B. 3차원 영상의 민감도	7
C. 골절의 종류에 따른 민감도의 차이	8
D. 골절의 위치에 따른 민감도의 차이	14
E. 영상의 질에 따른 민감도의 차이	16
F. 누골 골절 진단의 특이도 및 정확도	17
IV. 고찰	20
V. 결론	24
참고문헌	25
영문요약	27

그림 차례

Fig. 1. An example of volume rendering images in a 24 year old man	4
Fig. 2. Display parameters of the preset for volume rendering images	5
Fig. 3. An example of true positive displaced fracture in a 64 year old man	11
Fig. 4. An example of true positive undisplaced fracture in a 60 year old man	12
Fig. 5. An example of true positive incomplete fracture in a 44 year old man	13
Fig. 6. An example of fracture in the costochondral junction in a 60 year old man	18
Fig. 7. An example of false positive due to respiratory motion artifact in a 57 year old man	19

표 차례

Table 1. Detection rate of rib fractures	7
Table 2. Detection rate of rib fractures according to the classification of fracture	10
Table 3. Detection rate of rib fractures according to the location of fracture	15
Table 4. Detection rate of rib fractures according to quality of image	16
Table 5. Specificity and accuracy of rib fractures	17

I. 서론

흉부 외상으로 응급실에 내원하는 환자들에게 다중검출 전산화 단층촬영은 폐, 기관 및 대 혈관 등의 내부 장기 손상의 평가를 위해서 뿐만 아니라 늑골 골절 및 척추 골절의 진단을 위해서도 현재 널리 이용되고 있다(Hise 등,1998). 늑골 및 흉골 골절은 흉부 외상 환자에서 비교적 흔하게 발생하고 심한 통증을 일으킬 수 있기 때문에 적극적인 치료가 필요한 질환이다(Kerr 등, 2003). 늑골 골절은 환자의 심호흡을 제한하여 무기폐, 폐렴 등의 합병증을 발생시킬 위험이 높으며, 여러 개의 늑골골절이 있는 경우 기흉 및 혈흉이 50% 정도에서 동반될 수 있다(Thompson 등, 1986). 실제로 65세 이상의 노인 환자에서의 늑골골절은 입원일 수를 비롯하여 질병률과 사망률을 높인다는 연구 결과들이 있다 (Barnea 등, 2002; Bergeron 등, 2003). 하지만 단순 흉부 촬영에서의 늑골 및 흉골 골절의 진단율은 10% 이하로 매우 낮으며(Griffith 등,1999), 다중검출 전산화 단층촬영의 측면 영상에서 늑골 골절을 진단하는 일은 매우 시간을 소비하는 측면이 있다.

다중 검출 전산화 단층 촬영이 가지는 여러 가지 장점 때문에 외상 환자에서 내부 장기 및 골격의 손상의 평가를 위해 널리 이용되고 있으며, 최근에는 3차원 재구성 영상으로 골절을 진단하고자 하는 연구들이 진행되고 있다. 그 중에서도 volume rendering 기법은 shaded surface display 기법에 비하여 작은 전위 골절 및 골절에 의한 작은 골 절편을 발견하기 쉽고 인공물의 영향을 덜 받기 때문에 선호되고 있다(Marcel 등,2003).

3차원 재구성 영상의 질에 영향을 미치는 요소들로는 collimation, tube current, tube voltage, 절편 두께, 재구성 간격 등이 있다. Collimation과 tube current는 환자 촬영 시에 조절할 수 있는 변수로 collimation이 작을수록, tube current와 tube voltage는 높을수록 영상의 질이 향상된다. 절편 두께와 재구성

간격도 영상의 질에 영향을 미치는데, 절편 두께가 얇을수록, 재구성 간격이 좁을수록 향상된다. 하지만 절편 두께나 재구성 간격의 수치가 너무 작아지면 영상 자료의 수가 많아지고 재구성 하는데 걸리는 시간이 길어지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 흉부 외상 환자에서 다중 검출 전산화 단층 촬영의 기초 자료 (raw data)를 이용하여 3차원 영상을 재구성 하는 데 있어 늑골 골절의 진단율을 높일 수 있으면서도 가장 효율적으로 사용할 수 있는 절편 두께 및 재구성 간격의 방법을 알아보려고 하였다.

II. 재료 및 방법

A. 대상

2005년 3월 26일부터 4월 22일까지 아주대학교 병원 응급실로 내원한 흉부 외상 환자 중 16 slice MDCT (SIEMENS Sensation 16, AMC version 1.0, Forchheim, Germany)를 촬영한 사람 35명을 대상으로 하였다. 이 중 5명은 호흡에 의한 인공물, 흉벽에 부착된 심전도 금속 등으로 인한 인공물이 심하거나 골감소증이 심하여 대상에서 제외되었다. 따라서 대상군은 모두 30명으로 남자가 23명, 여자가 7명이며 나이는 23세에서 86세까지의 분포를 보였고, 평균 나이는 50.9세였다.

B. 영상기법

16 절편 다중 검출 전산화 단층촬영을 이용하여 촬영하였고, 스캔 매개 변수 (scanning parameters)는 120KVp, 300mAs, Field of view 300mm, detector collimation 0.75mm, pitch 1.0으로 하였다. 조영 전과 조영 후 영상을 모두 얻었고, 정맥 조영 증강은 Iomeron(Bracco, Milan, Italy) 40% 100cc와 식염수 20cc를 혼합하여 power injector로 주사하였다. 3차원 영상은 조영 전 영상을 사용하여 재구성 하였다.

기초 자료 (Raw data)로부터 횡단면 영상을 재구성 시에 절편 두께 2mm/재구성 간격 2mm로 한 이미지와, 절편 두께 2mm/간격 1mm, 절편 두께 1mm/간격 1mm, 절편 두께 1mm/간격 0.5mm의 축면 영상을 재구성하고 이로부터 volume rendering 기법을 적용하여, 22.5도 간격으로 회전하여 360도를 모두 포함하는 17개의 영상을 얻었다. 초기 몇 예의 영상을 검토한 후 이들 중 두께 2mm/간격 2mm의 3차원 영상은 stair-step artifact가 심하여 이후는 제외하였다.

또한 부가하여 절편 두께 2mm/간격 1mm의 횡단면 영상으로부터는 좌우측의

늑골 구조를 따로 3차원 영상으로 재구성 하였다. 이때 흉골과 척추는 우측 재구성 영상에 포함되게 하였다. 따라서 Fig. 1와 같이 모두 네 가지 시리즈의 3차원 영상, 즉 두께 2mm/간격 1mm (VR1), 두께 1mm/간격 1mm (VR2), 두께 1mm/간격 0.5mm (VR3), 두께 2mm/간격 1mm로부터 좌측과 우측을 따로 재구성한 영상(VR1')이 관독에 이용되었다.

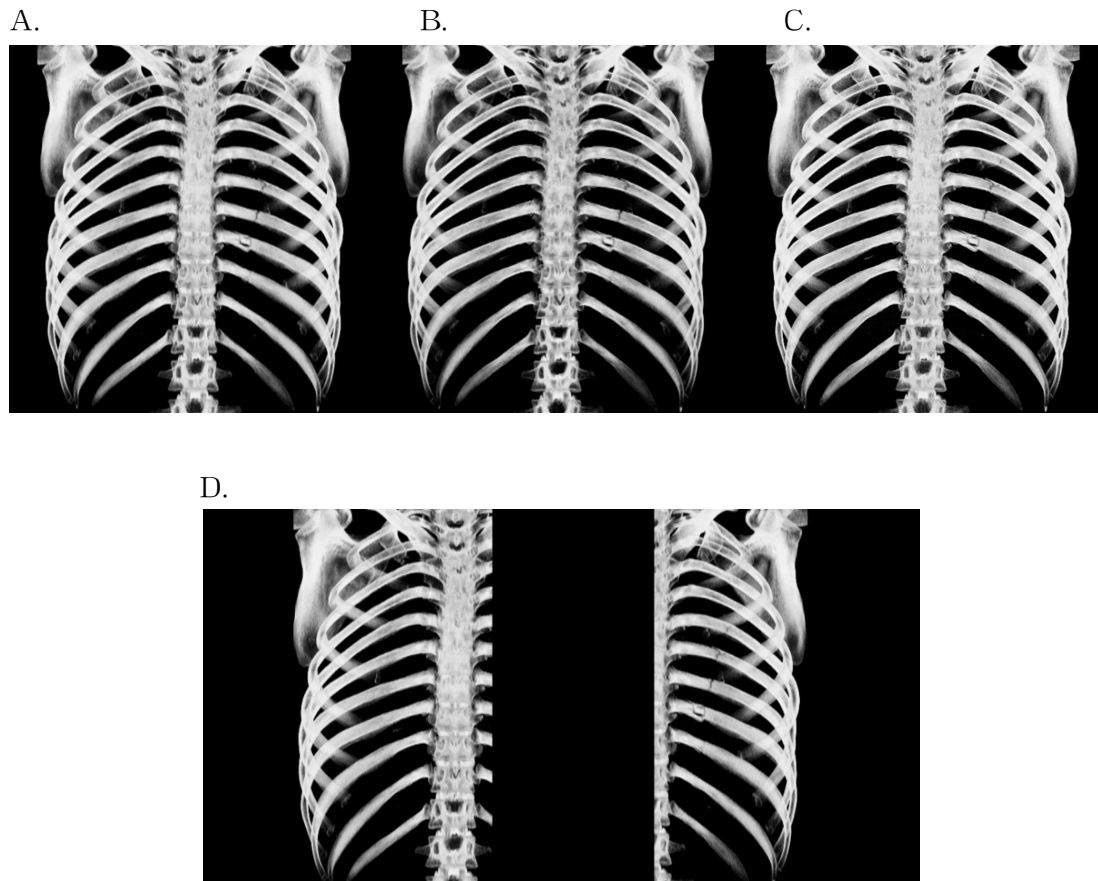


Fig. 1. An example of volume rendering images in a 24 year old man.
 A. VR1(2mm thickness/1mm interval) B. VR2(1mm thickness/1mm interval)
 C. VR3(1mm thickness/0.5mm interval) D. VR1'(2mm thickness/1mm interval)

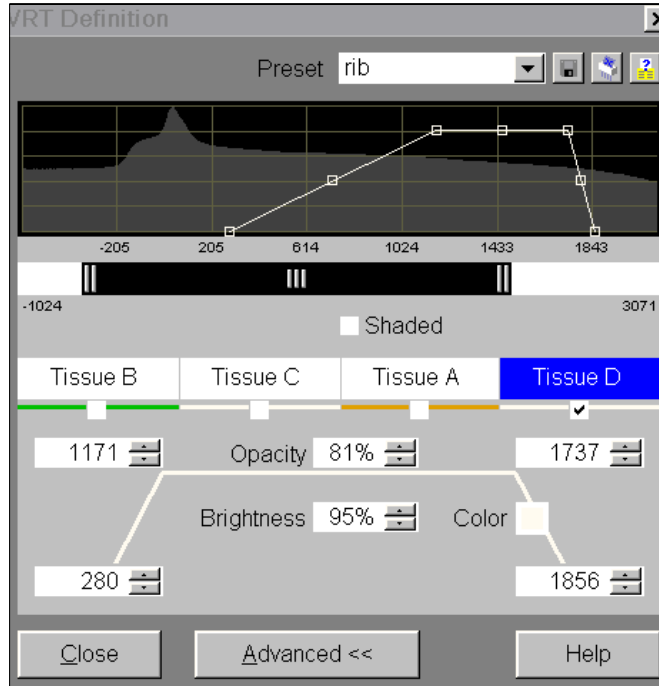


Fig.2. Display parameters of the preset for volume rendering images.

The density values from the data set are shown on the horizontal axis, and the relative frequency of the density values is shown in the vertical axis. One trapezoid was overlaid over the histogram, which coverse the defined density range.

Volume rendering 기법을 이용한 3차원 영상의 재구성은 견갑골 뒤에 있는 늑골을 잘 관찰할 수 있는 정도로 Fig.2와 같이 불투명도(opacity), 밝기(brightness), 색조(color)를 조절하여 시행하였다.

C. 영상 판독 및 결과 분석

늑골 골절 진단의 표준(gold standard)으로는 절편 두께 1mm/ 간격 0.5mm의 측면영상을 두 명의 영상의학과 전문의가 합의 하에 판독한 결과를 기본으로 하고, 3차원 영상과 핵의학 영상, 단순 촬영의 결과를 참고한 것으로 하였다. 한 명의 환자당 4가지 종류의 volume rendering 영상은 각각을 임의로 배열하였고 두 명의 영상의학과 전문의가 환자의 정보 없이 PACS system에서 판독하였다. 골절은 전위 골절과 비전위 골절, 불완전 골절로 분류하였다. 전위 골절은 피질의 비연속성이 있으면서 골편의 위치가 어긋난 경우, 비전위 골절은 피질의 비연속성이 있으나 골편의 위치는 제자리에 있는 경우, 불완전 골절은 골절의 선이 보이지 않으나 급격한 모서리를 보이는 경우로 정의하였다. 늑골 골절의 위치는 전궁(anterior arc), 측궁(lateral arc), 후궁(posterior arc)으로 나누었다. 영상의 질은 부적절한 경우 1점, 약간의 인공물이 있고 골격 대조도가 떨어지지만 판독에 지장이 없는 경우 2점, 인공물이 없고 골격 대조도가 좋은 경우 3점으로 하여 평가하였다.

4 종류의 영상에서 늑골 골절 진단의 민감도에 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 McNemar test를 시행하여 분석하였다.

III. 결과

A. 늑골 골절의 빈도

최종 판단된 전체 늑골 골절의 개수는 156개였고, 7명의 환자는 늑골 골절이 없었다. 156개의 골절 중 전위 골절은 67개, 비전위 골절은 51개, 불완전 골절은 38개였고 골절 위치에 따라서는 전궁 골절이 39개, 측궁 골절이 77개, 후궁 골절이 40개였다.

B. 3차원 영상의 민감도

판독자 1,2의 VR1,2,3,1'에서의 각각의 늑골 골절의 발견율은 표 1과 같다.

VR1,2,3,를 비교하였을 때, 판독자 1은 VR3에서 60.3%로 가장 높은 민감도를 보였고, 판독자 2는 VR2,3에서 66.7%로 가장 높은 민감도를 보였다. 판독자 1은 VR1과 VR2를 비교하였을 때 둘 사이에 의미있는 민감도의 차이를 보이지 않았으며($p=1.00$), VR2와 VR3를 비교하였을 때는 통계적으로 유의하게 VR3에서 민감도가 높았다($p=0.001$). VR1과 VR1'를 비교하였을 때 VR1'에서 의미있게 높은 민감도를 보였다($p=0.000$). 판독자 2는 VR1과 VR2를 비교하였을 때 통계적으로

Table 1. Detection rate of rib fractures(n=156)

	VR1	VR2	VR3	VR1'
Reader 1	76(48.7%)	77(49.4%)	94(60.3%)	98(62.8%)
Reader 2	83(53.2%)	104(66.7%)	104(66.7%)	115(73.7%)
Mean	80(51.0%)	91(58.0%)	99(63.5%)	107(68.3%)

유의하게 VR2에서 민감도가 높았고($p=0.000$), VR2와 VR3 사이에는 의미있는 민감도의 차이를 보이지 않았다. VR1과 VR1'을 비교했을 때는 통계적으로 유의하게 VR1'에서 민감도가 높았다($p=0.000$).

C. 골절의 종류에 따른 민감도의 차이

각 판독자의 골절의 종류에 따른 발견율은 표 2와 같다. 두 명의 판독자가 VR1,2,3,1' 모두에서 전위골절에 대한 민감도가 가장 높았고 (61.2%-86.6%), 그 다음이 비전위 골절이었으며(43.1%-72.5%), 불완전 골절의 민감도가 가장 낮았다(23.7%-52.6%).

판독자 1은 전위 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때 통계적으로 유의하게 VR2에서 민감도가 높았고($p=0.031$), VR2와 VR3를 비교하였을 때는 의미있게 VR3에서 민감도가 높았다($p=0.008$). VR1과 VR1'사이에는 유의한 민감도의 차이를 보였다($p=0.000$).

비전위 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때 VR2에서 의미있게 민감도가 높았고($p=0.008$), VR2와 VR3를 비교하였을 때는 통계적으로 유의하게 VR3에서 높은 민감도를 보였다($p=0.000$). VR1과 VR1'사이에는 유의한 민감도의 차이를 보였다($p=0.000$).

불완전 골절의 경우 VR1과 VR2사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나($p=0.5$), VR2, VR3사이에는 의미있게 VR3에서 민감도가 높았고($p=0.031$), VR1과 VR1' 사이에는 유의한 민감도의 차이를 보였다($p=0.000$)

관독자 2는 전위 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때 통계적으로 유의하게 VR2에서 민감도가 높았고($p=0.000$), VR2와 VR3를 비교하였을 때는 의미있는 차이를 보이지 않았다($p=1.000$). VR1과 VR1'사이에는 유의한 민감도의 차이를 보였다($p=0.000$).

비전위 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때 VR2에서 의미있게 민감도가 높았고($p=0.000$), VR2와 VR3를 비교하였을 때는 의미있는 차이를 보이지 않았다($p=0.5$). VR1과 VR1'사이에는 유의한 민감도의 차이를 보였다($p=0.000$).

불완전 골절의 경우 VR1과 VR2사이에 통계적으로 유의하게 VR2에서 민감도가 높았고($p=0.001$), VR2, VR3사이에는 의미있는 차이를 보이지 않았으며($p=0.25$), VR1과 VR1' 사이에는 유의한 민감도의 차이를 보였다($p=0.000$).

Figure 3은 전위 골절, figure 4는 비전위 골절, figure 5는 불완전 골절의 예를 보여주는 것이고 figure 6는 늑골-연골 연결 부위에 골절이 생겨 위음성을 보였던 환자의 예이다.

Table 2. Detection rate of rib fractures according to the classification of fracture (displaced fracture n=67, undisplaced fracture n=51, incomplete fracture n=38)

		VR1	VR2	VR3	VR1'
Reader1	전위골절	41(61.2%)	45(67.2%)	50(74.6%)	50(74.6%)
	비전위골절	26(51.0%)	22(43.1%)	32(62.7%)	34(66.7%)
	불완전골절	9(23.7%)	10(26.3%)	12(31.6%)	14(36.8%)
Reader2	전위골절	45(67.2%)	53(79.1%)	53(79.1%)	58(86.6%)
	비전위골절	27(52.9%)	36(70.6%)	37(72.5%)	37(72.5%)
	불완전골절	11(28.9%)	15(39.5%)	14(36.8%)	20(52.6%)
Mean	전위골절	43(64.2%)	49(73.1%)	52(77.6%)	54(80.6%)
	비전위골절	27(52.9%)	29(56.9%)	35(68.6%)	36(70.6%)
	불완전골절	10(26.3%)	13(34.2%)	13(34.2%)	17(44.7%)

A.

B.

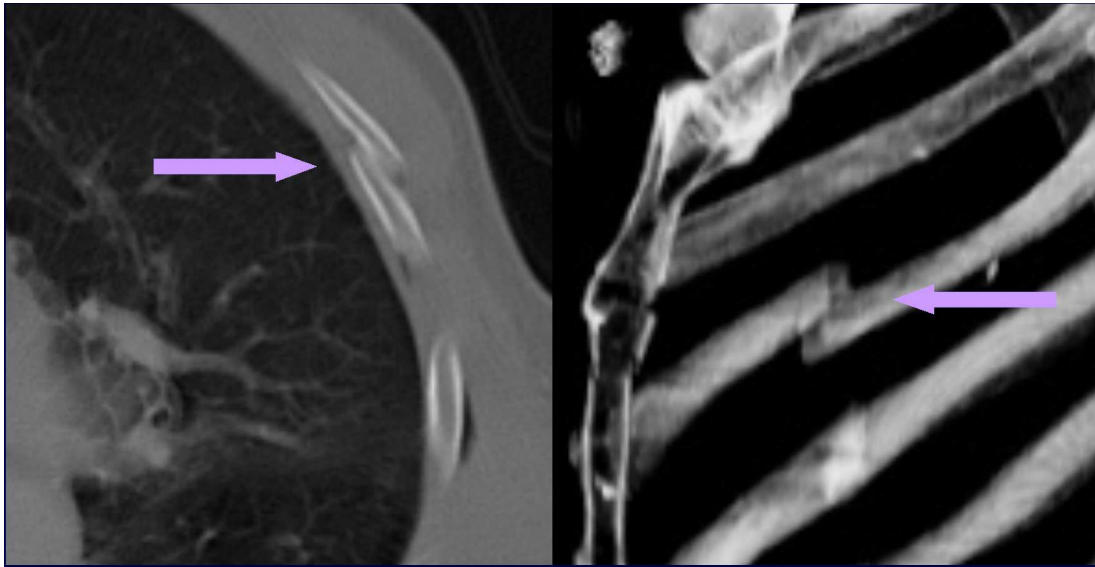


Fig. 3. An example of true positive displaced fracture in a 64 year old man. A. 1mm-thick axial image shows displaced rib fracture in lateral arc of left 3rd rib (arrow). B. 3-D volume rendering image of slice thickness 1mm and increment interval 1mm shows displaced fracture in lateral arc of left 3rd rib (arrow).

A.

B.

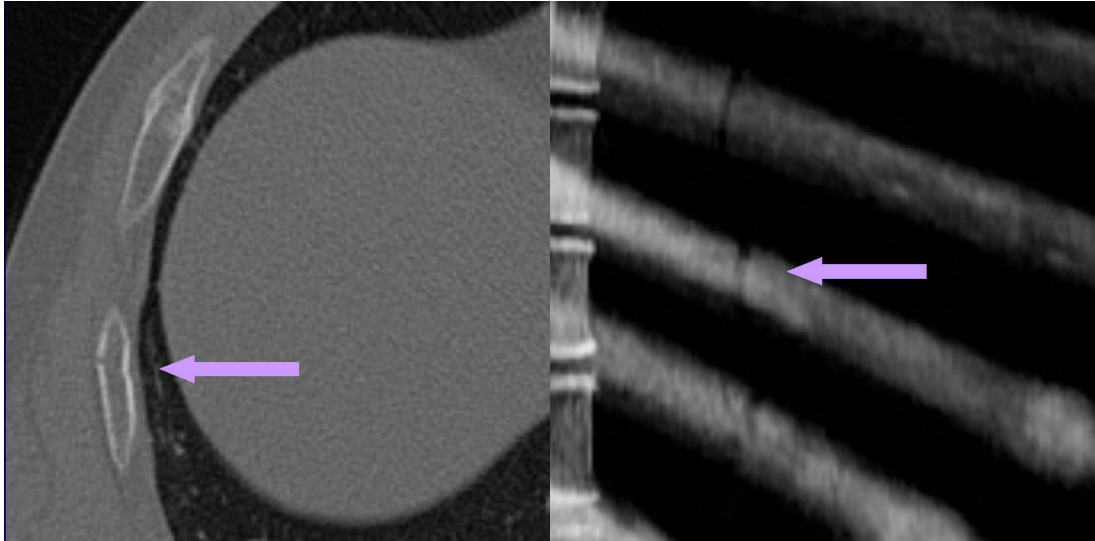


Fig. 4. An example of true positive undisplaced fracture in a 60 year-old man. A. 1mm-thick axial image shows undisplaced fracture in the posterior arc of left 6th rib (arrow). B. 3-D volume rendering image of slice thickness 1mm and increment interval 1mm shows undisplaced fracture in the posterior arc of left 6th rib (arrow).

A.

B.

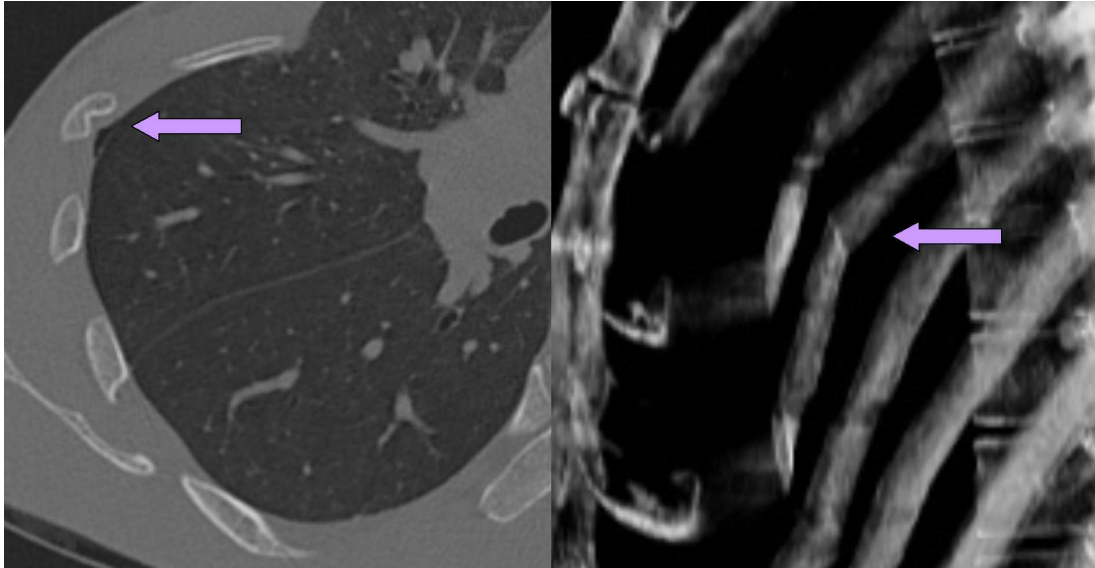


Fig.5. An example of true positive incomplete fracture in a 44 year-old man. A. 1mm-thick axial image shows incomplete fracture in lateral arc of right 4th rib (arrow). B. 3-D volume rendering image of slice thickness 1mm and increment interval 1mm shows incomplete fracture in the lateral arc of right 4th rib (arrow).

D. 골절의 위치에 따른 민감도의 차이

골절의 위치에 따른 각 판독자의 발견율은 표 3과 같다. 두 명의 판독자가 VR1,2,3,1' 모두에서 후궁골절의 민감도가 가장 높았고(72.5%-85.0%), 그 다음이 측궁 골절이었으며(50.6%-79.2%), 전궁 골절의 민감도가 가장 낮았다(10.3%-56.4%).

판독자 1은 전궁 골절의 경우 VR1과 VR2사이에는 의미있는 차이가 없었고($p=0.5$), VR2와 VR3 사이에도 민감도의 차이가 없었다($p=0.25$). VR1과 VR1'을 비교하였을 때는 VR1'에서 의미있게 민감도가 높았다($p=0.002$). 측궁 골절의 경우 VR1과 VR2 사이에는 의미있는 민감도의 차이를 보이지 않았으며($p=0.125$), VR2와 VR3를 비교하면 VR3에서 의미있게 높았다($p=0.000$). VR1과 VR1'를 비교하였을 때는 VR1'에서 의미있게 높은 민감도를 보였다($p=0.000$). 후궁 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때 VR2에서 의미있게 민감도가 높았고($p=0.016$), VR2와 VR3 사이에는 의미있는 민감도의 차이를 보이지 않았다($p=0.063$). VR1과 VR1'을 비교하면 VR1'에서 통계적으로 유의하게 높았다($p=0.002$).

판독자 2는 전궁 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교했을 때 VR2에서 통계적으로 유의하게 민감도가 높았고($p=0.000$), VR2와 VR3 사이에는 민감도의 차이가 없었다($p=0.063$). VR1과 VR1'을 비교하였을 때는 VR1'에서 의미있게 민감도가 높았다($p=0.000$). 측궁 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때, VR2에서 유의하게 민감도가 높았으며($p=0.000$), VR2와 VR3사이에는 의미있는 차이를 보이지 않았다($p=0.5$). VR1과 VR1'를 비교하였을 때는 VR1'에서 의미있게 높은 민감도를 보였다($p=0.000$). 후궁 골절의 경우 VR1과 VR2를 비교하였을 때 VR2에서 의미있게 민감도가 높았고($p=0.008$), VR2와 VR3 사이에는 의미있는 민감도의 차이를 보이지 않았다($p=1.0$). VR1과 VR1'을 비교하면 VR1'에서 통계적으로 유의하게 높았다($p=0.000$).

Table 3 . Detection rate of rib fractures according to the location of fracture (anterior n=39, lateral n=77, posterior n=40)

		VR1	VR2	VR3	VR1'
Reader1	전궁골절	5(12.8%)	6(15.4%)	7(17.9%)	9(23.1%)
	측궁골절	42(54.5%)	39(50.6%)	53(68.8%)	56(72.7%)
	후궁골절	29(72.5%)	32(80.0%)	34(85.0%)	33(82.5%)
Reader2	전궁골절	4(10.3%)	12(30.8%)	10(25.6%)	22(56.4%)
	측궁골절	49(63.6%)	59(76.6%)	61(79.2%)	60(77.9%)
	후궁골절	30(75.0%)	33(82.5%)	33(82.5%)	33(82.5%)
Mean	전궁골절	5(12.8%)	9(23.1%)	9(23.1%)	16(41.0%)
	측궁골절	46(59.7%)	49(63.6%)	57(74.0%)	58(75.3%)
	후궁골절	30(75.0%)	33(82.5%)	34(85.0%)	33(82.5%)

E. 영상의 질에 따른 민감도의 차이

각 판독자의 영상의 질에 따른 민감도는 표 4와 같다. 영상의 질을 떨어뜨리는 요소들로는 환자의 호흡으로 인한 인공물(respiratory motion artifact), 심전도 부착판에 의한 beam hardening artifact, 심한 골감소증(osteoporosis)로 인한 경우 등이 있었다. 두 명의 판독자가 VR1,2,3,1' 모두에서 영상의 질을 2점으로 평가한 경우(51.1%-77.4%)와 3점으로 평가한 경우(41.9%-84.1%)가 1점인 경우(12.5%-50.0%)보다 높은 민감도를 보였다.

Table 4. Detection rate of rib fractures according to quality of image.

		VR1	VR2	VR3	VR1'
	1점	5/14(35.7%)	13/45(28.9%)	11/27(40.7%)	16/37(43.2%)
Reader1	2점	58/111(52.3%)	53/90(58.9%)	46/85(54.1%)	64/89(71.9%)
	3점	13/31(41.9%)	11/21(52.4%)	37/44(84.1%)	18/30(60.0%)
	1점	2/16(12.5%)	10/20(50.0%)	7/21(33.3%)	5/15(33.3%)
Reader2	2점	55/97(56.7%)	49/70(70.0%)	23/45(51.1%)	82/106(77.4%)
	3점	26/43(60.5%)	45/66(68.2%)	74/96(77.1%)	28/35(80.0%)

F. 늑골 골절 진단의 특이도 및 정확도

관독자별 VR1,2,3,1'에서의 위양성, 특이도 및 정확도는 표 4와 같다. 늑골 골절 진단의 특이도는 96.0%-99.5%를 보였고 정확도는 92.5%-96.1%를 보였다.

관독자 1,2 모두가 VR1'에서 가장 많은 위양성을 보였으며(24개,21개), VR1,2에 비하여 VR3에서 위양성의 개수가 많았다(11개,9개).

Figure 7은 환자의 호흡으로 인한 인공물로 인하여 위양성을 보였던 예이다.

Table 5. Specificity and accuracy of rib fractures .

		VR1	VR2	VR3	VR1'
false positive		5	3	11	24
Reader1	Specificity	99.2%	99.5%	98.2%	96.0%
	Accuracy	92.5%	92.9%	94.2%	92.9%
false positive		5	7	9	21
Reader2	Specificity	99.2%	98.8%	98.5%	96.5%
	Accuracy	93.5%	96.1%	95.9%	95.7%

A.

B.

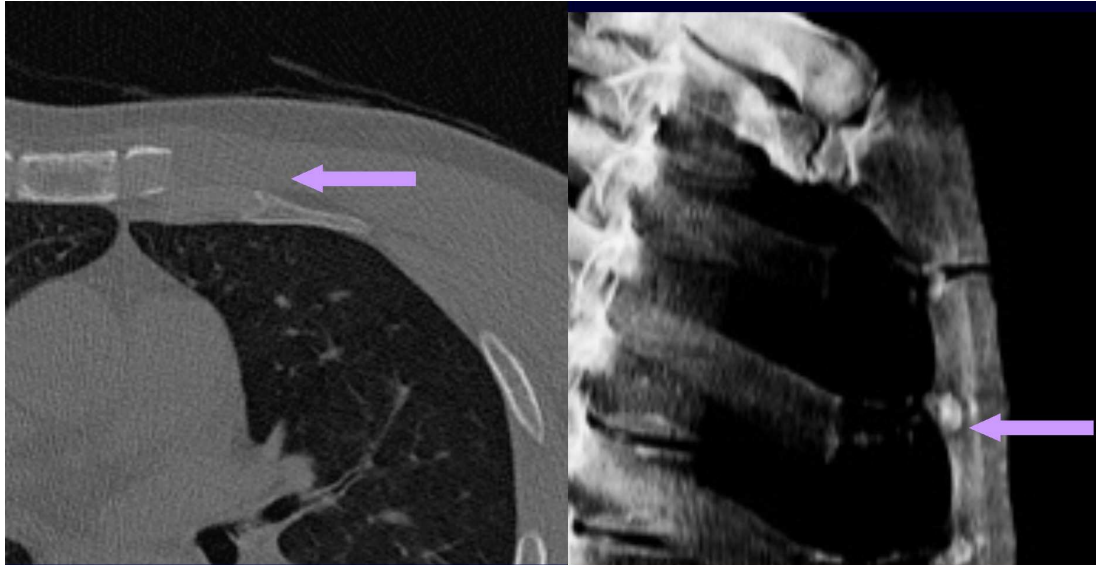


Fig. 6. An example of fracture in the costochondral junction in a 60 year-old man. A. 1mm thick axial image shows fracture in the costochondral junction of left 3rd rib (arrow). B.3-D volume rendering image of slice thickness 2mm and increment interval 1mm which was reconstructed only for the left side shows fracture in the costochondral junction of the left 3rd rib (arrow).

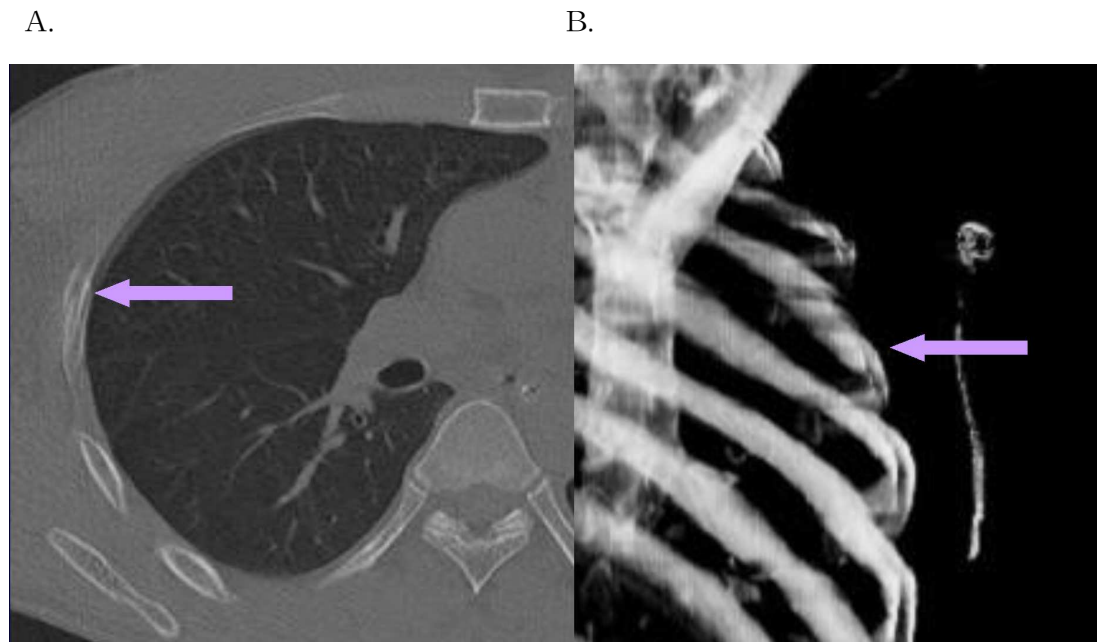


Fig. 7. An example of false positive due to respiratory motion artifact in a 57 year-old man.

A. 1mm-thick axial image shows the motion artifact in lateral arc of right 5th rib (arrow). B. 3-D volume rendering image of slice thickness 1mm and increment interval 1mm shows motion artifact mimicking true fracture (arrow).

IV. 고찰

늑골 골절은 흉부 둔상 환자의 약 40%에서 발생할 수 있는 비교적 흔한 질환이며(Sirmali 등, 2003), 골절 자체 보다는 골절로 인한 합병증이 임상적으로 중요한 의미를 가진다. 늑골 골절의 가장 흔한 위치는 다섯 번째 늑골에서부터 아홉 번째 늑골이며, 이보다 상부의 늑골 골절이 있을 경우는 좀 더 심한 흉부 외상을 의미한다. 첫 번째 늑골에서부터 세 번째 늑골 골절은 흉곽 안쪽의 대 혈관이나 상완 신경총의 손상을 동반할 수 있으며, 열 번째 늑골에서부터 열두 번째 늑골의 골절이 있는 경우는 간, 비장 및 신장의 열상이 있을 수 있다. 동반되는 폐 합병증으로는 폐 실질의 타박상(contusion), 출혈, 무기폐, 폐렴 및 기흉과 혈흉이 있다. 이러한 합병증으로 인하여 65세 이상의 노인에서 늑골 골절은 질병률과 사망률을 높이며, 5개 이상 인접한 늑골 골절 또는 3분절 이상의 골절을 의미하는 동요가슴(flail chest)은 직접적인 폐와 흉막 손상과 흉벽의 호흡 보조기능 손실로 인하여 호흡부전을 초래할 수 있다. 또한 만성적으로 비특이적인 흉부 통증을 호소하는 환자에서 늑골에 잠행골절 (occult fracture)이 있을 수 있으므로 합병증을 동반하지 않은 단발성 늑골 골절의 진단도 임상적으로 중요한 의미를 가진다고 하겠다. 하지만 단순 흉부 촬영에서의 늑골 골절의 진단율은 10% 이하로 매우 떨어지며, 다중 검출 전산화 단층 촬영의 측면 영상에서 늑골 골절을 진단하는 일은 비전위 골절이나 불완전 골절에 대해 상대적으로 높은 민감도를 보이지만 매우 시간을 소비하는 측면이 있다.

다중 검출 전산화 단층 촬영은 흉부 외상으로 응급실에 내원하는 환자들에서 폐, 기관 및 대 혈관 등의 내부 장기 손상의 평가를 위해서 뿐만 아니라 척추 골절의 진단을 위해서도 현재 널리 이용되고 있다. 다중 검출 전산화 단층 촬영은 single detector CT에 비하여 영상을 얻는 시간이 짧고, 넓은 범위를 스캔할 수 있다. 매우 얇은 절편 두께를 얻을 수 있기 때문에 높은 Z축 해상도를 보이며,

다중 평면 재구성(multiplanar reformation) 시에 좋은 영상을 얻을 수 있다. 또한 다중 검출 전산화 단층 촬영은 동방성 화소(isotropic voxel)에 근접하기 때문에 기초자료 (Raw data)로부터 2차원, 혹은 3차원 영상으로의 후처리(postprocessing)가 가능하며, (Marcel 등, 2003) maximum intensity projections(MIP), shaded surface display(SSD) 및 volume rendering(VR) 영상을 측면 영상의 질과 거의 비슷하게 얻을 수 있는 장점이 있다(Philipp 등, 2004).

Shaded surface display는 scan해서 얻은 자료 중에서 외부에서 지정해준 기준 hounsfield unit 값 이상의 자료만을 똑같은 불투명도 (opacity)로 표현하고 그 이하의 hounsfield unit 값을 가지는 자료는 표현하지 않는다. Maximum intensity projection은 scanned data의 각 측면 영상에서 가장 높은 hounsfield unit 값을 가진 부분만을 골라내어 3차원 영상화 하는 것이다.

Shaded surface display과 비교하여 volume rendering은 사다리꼴 도형을 여러 개 설정하여 다양한 hounsfield unit을 가진 조직을 각기 다른 opacity로 표현할 수 있기 때문에 골격 구조와 혈관 구조, 연부 조직 등을 동시에 볼 수 있는 장점이 있다. 또한 뼈와 주변 조직과의 경계면 대조도가 좋고 SSD에 비하여 상대적으로 깨끗한 표면을 보여주기 때문에 골절뿐만 아니라 종양을 평가할 때도 많이 사용되고 있으며, 특히 얼굴뼈(facial bone), 발 관절(foot joint) 같이 해부학적 구조가 복잡한 부위에서 중요한 정보를 제공해 줄 수 있다(Marcel 등, 2003).

이 연구에서는 기초 자료(raw data)로부터 측면영상을 재구성할 때 절편 두께와 간격을 3가지 종류로 달리하여 재구성하였고 이들로부터 volume rendering 영상을 얻었다. 또한 좌측과 우측을 따로 재구성하여 늑골이 겹쳐지는 것을 방지하였을 때 늑골 골절의 발견율이 얼마나 높아지는가를 평가하였다.

이번 연구의 결과 VR1`에서 가장 높은 민감도를 보이고 있으며(68.3%), 이는 VR1(51.1%)과 비교하여 통계적으로 유의하게 높은 민감도를 보였다($p=0.001$). VR2와 VR3를 비교했을 때는 VR3(63.5%)에서 VR2(58.0%)보다 의미있게 높은

민감도를 보였다($p=0.008$). 따라서 절편 두께 1mm/ 간격 1mm 또는 절편 두께 1mm/ 간격 0.5mm의 측면 영상으로부터 좌,우측을 각각 3차원 영상으로 재구성하게 되면 보다 높은 민감도를 보일 것으로 생각된다.

골절의 종류에 따른 민감도를 보면 전위 골절의 경우 61.2%-86.6%, 비전위 골절의 경우 43.1-72.5%, 불완전 골절의 경우 23.7-52.6%로 비전위 골절과 불완전 골절의 민감도가 상대적으로 낮은 것을 볼 수 있다. 또한 측궁 골절(50.6%-79.2%)과 후궁 골절(72.5%-85.0%)에 비하여 전궁 골절의 민감도(10.3%-56.4%)가 많이 낮은 것을 볼 수 있는데, 이는 늑골의 앞 부분이 상대적으로 골밀도가 떨어지는 점과 늑골-연골 사이에 생긴 골절을 발견하기 어렵기 때문으로 생각된다. 영상의 질에 따른 민감도의 차이는 3점으로 평가한 경우(41.9%-84.1%)와 2점으로 평가한 경우(51.1%-77.4%)가 1점인 경우(12.5%-50.0%)보다 높은 민감도를 보였다.

늑골 골절에 대한 특이도는 96.0%-99.5%, 정확도는 92.5%-96.1%를 보이고 있어서 비교적 높은 특이도와 정확도를 가진다고 할 수 있다.

Volume rendering 기법이 늑골 골절의 진단에 비교적 쉽고 효율적인 방법이지만 이번 연구에서 나타난 몇 가지 제한점을 보면, 첫째 비전위 골절이나 불완전 골절에 대한 민감도가 비교적 낮다는 점이다. 하지만 판독자들이 평가한 영상의 질이 3점, 2점인 경우에는 비전위 골절이나 불완전 골절도 명확히 보이고 있어서 골감소증이 심하거나 인공물이 심한 경우와 같이 영상의 질을 떨어뜨리는 요소를 줄여주면 이들에 대한 발견율도 더욱 높아질 것으로 기대된다.

둘째로 영상 판독을 워크스테이션에서 시행하지 않고 판독실 모니터로 시행하였기 때문에 골절이 의심되는 부위를 원하는 각도에서 볼 수 없는 제한이 있었다. 특히 첫 번째나 두 번째 늑골은 쇄골이나 견갑골에 의해 많은 부분이 둘러싸여 있기 때문에 비교적 낮은 민감도를 보이고 있으나, 워크스테이션에서 영상을 여러 각도로 회전시켜서 평가하였다면 좀 더 좋은 결과를 보였을 것으로 사

료된다.

Volume rendering기법은 이와 같이 몇 가지의 제한점이 있음에도 불구하고 측면영상에 비해 판독에 걸리는 시간과 노력이 적다는 점에서 장점이 있으며, 영상의 질이 좋은 경우 비교적 높은 민감도를 보여준다. 이번 연구의 결과를 볼 때, 절편 두께 1mm/절편 간격 1mm 또는 절편 두께 1mm/절편 간격 0.5mm의 측면 영상으로부터 좌,우측을 각각 3차원 영상으로 재구성하게 되면 높은 민감도와 정확도를 보임으로써 늑골 골절을 보다 효율적으로 진단할 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

Volume rendering 영상은 비전위 골절이나 불완전 골절보다 전위 골절에서 더 높은 민감도를 보이고 있으며, 전궁 골절 보다는 측궁과 후궁 골절에서 더 높은 민감도를 보였다. 영상의 질이 좋을수록 높은 민감도를 보였으며, 늑골 골절에 대한 특이도와 정확도는 매우 높게 평가되었다.

특히 절편 두께 1mm/ 절편 간격 0.5mm의 측면 영상으로부터 재구성한 volume rendering 영상과 두께 2mm/ 간격 1mm의 측면 영상으로부터 좌,우측을 각각 재구성한 영상에서 높은 민감도를 보이고 있기 때문에, 절편 두께 1mm/ 절편 간격 0.5mm의 측면 영상으로부터 좌,우측을 각각 재구성 하게 되면 늑골 골절을 매우 정확하게 진단할 수 있을 것으로 기대되며 실제 임상에서 활용할 때 효율적인 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Barnea Y, Kashtan H., Skornick Y. Werbin N : Isolated rib fractures in elderly patients: Mortality and morbidity. *Canadian journal of Surgery* 45 : .43-46, 2002
2. Bergeron E, Lavoie A, Clas D, Moore L, Ratte S, Tetreault S, Lemaire J, Martin M : Elderly trauma patients with rib fractures are at greater risk of death and pneumonia. *J Trauma* 54 : 478-485, 2003
3. Griffith JF, Rainer TH, Ching AS: Sonography compared with radiography in revealing acute rib fracture. *American journal of Roentgenology* 173 : 1603-1609, 1999
4. Hatem Alkadhi, Simon Wildermuth, Bourt Marincek, Thomas Boehm: Accuracy and time efficiency for the detection of thoracic cage fractures. *Journal of computer assisted tomography* 28 : 378-385, 2004
5. Kerr-Valentic MA, Arthur M, Mullins RJ, Pearson TE, Mayberry JC: Rib fracture pain and disability: can we do better? *J Trauma* 54: 1058-1063, 2003
6. Marcel O.Philipp, Klaus Kubin, Thomas Mng, Marcus Hormann, Viktor M.Metz : Three-dimensional volume rendering of multidetector-row CT data : applicable for emergency radiology. *European journal of radiology* 48 : 33-38, 2003
7. Marcel O.Philipp, Martin A. Funovics, Frederick A.Mann, Andreas M.Herneth, Michael H.Fuchsjaeger, Florian Grabenwoeger, Gerhard

- Lechner, Viktor M.Metz.: Four-channel Multidetector CT in facial fractures : Do we need 2 x0.5mm collimation? *American journal of Roentgenology* 180 : 1707-1713, 2003
8. ML Van Hise, SL Primac, RS Israel and NL Muller : CT in blunt chest trauma : indications and limitations, *RadioGraphics* 18: 1071-1084, 1998
 9. Philipp G.C. Begemann, Jorn Kemper, Christian Gatzka, Alexander Stork, Claus Nolte-Ernsting, Gerhard Adam : Value of multiplanar reformations in multidetector CT of acute vertebral fractures. *Journal of Computer assisted tomography* 28 : 572-580, 2004
 10. Sirmali M, Turut H, Topcu S. : A comprehensive analysis of traumatic rib fractures : morbidity, mortality and management. *European journal of cardiothoracic surgery* 24 : 133-138, 2003
 11. Thompson BM, Finger W, Tonsfeldt D, Aprahamian C, Troiano P, Hendley G, Mateer J, Stueven H : Rib radiographs for trauma: useful or wasteful? *Ann Emerg Med* 15 : 261-265, 1986

-ABSTRACT-

**A Study of Imaging Techniques of 3-Dimensional CT Diagnosis
for Rib Fractures**

Tae Hee Kim

Department of Medical Sciences
The Graduate School, Ajou University

(Supervised by Professor Kyung Joo Park)

Rib fracture is a common disease occurring in patients with blunt chest trauma and can cause variable complications. However, the sensitivity of simple chest X-ray for the diagnosis of rib fracture is not high and the use of axial CT images of multi-detector computed tomography make us to spend so much time and effort to detect rib fracture. Multidetector CT is increasingly used for the evaluation of trauma patients and 3-dimensional CT image is known to be effective to detect rib fractures. The purpose of our study is to investigate the appropriate techniques including slice thickness and increment intervals for reconstructing 3D CT images in the diagnosis of rib fractures.

From the raw CT data of 30 patients who were admitted to our emergency department due to blunt chest trauma and performed thoracic multidetector CT, 3 sets of axial images and 4 kinds of volume rendering images were reconstructed. VR1 was reconstructed from the axial images of 2mm slice thickness and 1mm increment interval. VR2 was from the axial images of 1mm slice thickness and 1mm increment interval and VR3 from 1mm slice thickness and 0.5mm increment interval. VR1` was from the axial images of 2mm slice thickness and 1mm increment interval and the right and left side were reconstructed separately.

Two radiologists independently interpreted the 4 sets of volume rendering images for the presence and the location of rib fractures and the image quality.

Gold standard were from the results of consensus reading by 2 radiologists of axial images with 1mm slice thickness and 0.5mm increment interval. The radionuclide images and volume rendering 3D CT images were also included if available.

In comparing with VR1,2 and 3, reader 1 showed the highest sensitivity (60.3%) on VR3 and reader 2 on VR2 and VR3(66.7%) . VR3 showed significantly higher sensitivity than VR1 in both readers($p=0.000$). There were significantly differences of sensitivities between VR2 and VR3 in reader 1 and between VR1 and VR2 in reader 2. VR1` showed significantly higher sensitivity than VR1 in both readers ($p=0.000$).Both readers had higher sensitivity in the displaced fractures than in undisplaced or incomplete fractures. Sensitivity for the fractures in the anterior arcs is significantly lower than in the lateral or posterior arcs.

Because higher sensitivities were shown on the volume rendering images

reconstructed from axial images with 1mm-thick/0.5mm interval and on the images in which each half of the thorax was separately reconstructed, we expect that volume rendering images of 1mm-thick/0.5mm interval reconstructed for each half of the thorax will be the most accurate and efficient method for the diagnosis of rib fractures on clinical setting.

Key Words : rib fracture, volume rendering image, sensitivity, slice thickness, increment interval