

듀얼 에너지 CT의 가상 단색 영상을 이용한 영상 교정 팬텀과 금속 인공음영에 관한 연구

전북대학교병원 방사선종양학과, 전북대학교병원 의학생명연구소*

이준성·이승훈·박주경·이선영*·김진기

목적: 이중선원 듀얼에너지 CT(DS-DECT)의 가상 단색 영상을 이용해서 영상의 질 향상과 선량학적 영향에 대한 방사선치료계획 이용의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법: DS-DECT를 이용하여 듀얼에너지(80/Sn 140 kVp)와 싱글에너지(120 kVp) 영상을 획득하였다. 영상 교정 팬텀 실험을 위해서 40-140 keV 범위로 단색 영상을 재구성했다. 선량 측정용 고체물등가팬텀 연구에서는 64, 69, 88, 105 keV 단색 영상을 선택했다. 스테인리스 스틸을 포함한 고체물등가팬텀에 10×10 cm² 조사야, SSD 100 cm, 10 MV 광자선, 100 MU 조사선량, 단일빔으로 치료계획을 수립하였다. 방사선량측면도 자료는 중심축에 위치한 4개의 지점에서 구했다. 싱글에너지 CT에서 획득한 단색 영상을 기준영상으로 하고, 가상 단색 영상의 선량학적 결과를 분석하였다.

결과: 낮은 단색 에너지 수치에서 평균 감약이 증가했다. 7개의 물질 중에서 Teflon이 에너지 의존성이 가장 컸고, 10 keV 수치 상승으로 CT number가 평균 2.48 % 감소했다. 저밀도 공기에서는 단색 에너지에 대한 에너지 의존성이 없었다. Polystyrene, Acrylic은 70 keV 이상에서 안정한 CT number를 나타내었다. CT-ED 변환 곡선은 80 keV 단색 영상과 120 kVp 단색 영상이 비슷하였다. 단색 영상의 에너지가 증가할수록 금속의 식별 능력이 향상되었다. 줄무늬 인공음영은 105 keV 단색 영상에서 높은 감소를 보였지만, 여전히 남아 있었다. 단색 영상과 비교하여 각 영상에 따른 방사선치료계획의 선량학적 차이는 ±0.7 % 미만이었다.

결론: 듀얼에너지 영상의 획득은 싱글에너지에 비해 피폭선량을 감소시킬 수 있고, 가상 단색 영상은 CT number 보정에 유용하였다. 향상된 영상의 질은 인체의 기하구조 묘사와 전자 밀도 분포 형성에 도움이 될 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** 가상 단색 영상, CT number, 금속 인공음영

서론

방사선 치료를 이용한 암 치료의 성공 여부는 방사선 전달의 정확성에 의존한다. 치료 표적을 향상시키고 정상 조직에 불필요한 방사선을 피하기 위해서 초기의 치료 계획 단계가 중요하다. 방사선치료계획에서 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography, CT)의 사용은 기하학적 체적 정의와 선량 계산의 정확성을 향상시켰다. 일부 방사선

치료는 2D 치료 계획을 이용하지만, 대부분의 치료는 CT scan을 이용한 정교한 3D 치료 계획으로부터 이득을 얻는다. 이는 정확한 방사선치료계획을 가능하게 하며 치료 성적을 향상시킨다. DECT(Dual Energy CT) 개념은 1973년 Hounsfield에 의해 제시되었다. 현재는 기술의 진보로 임상에서 사용되고 있고, 기본 원칙은 서로 다른 전압을 사용한 에너지 설정이다. DECT는 다른 분자 요소들로 되어 있는 물질들을 구별할 수가 있으며, 결과적으로 감약에 기반한 영상을 물질 특성 영상으로 이행할 수 있다.⁽¹⁾ 재구성하여 가상의 단색 영상 자료를 획득할 수 있다.

일반적으로 X-ray 선원은 다색(polychromatic) 스펙트럼을 제공한다. 다색 영상은 에너지 평균 때문에 고밀도 물

책임저자: 김진기, 전북대학교병원 방사선종양학과
전북 전주시 덕진구 건지로 20, 54907
Tel: 063)250-1187
E-mail: kimjk@cuh.co.kr

질이 있을 경우 선속 경화 인공음영의 원인이 된다. 이에 비해 단색(monochromatic) 영상은 이론적으로 인공음영 영역을 제거할 수 있고, 영상 해부학에 대한 양적인 정보를 제공한다. 하지만 실제로는 합성된 단색 영상은 에너지에 따라서 불완전한 보정이 이루어지기 때문에 인공음영을 포함한다.⁽²⁾ 이에 본 연구에서는 이중선원 듀얼에너지(Dual Source-Dual Energy) CT에서 획득한 가상 단색 영상을 이용하여 방사선치료계획에서 그 유용성을 확인하고자 한다. Catphan 팬텀을 활용해서 에너지별 CT number와 CT-ED(Electron Density) 변환 곡선을 확인했다. 그리고 금속 물질이 포함된 선량 측정용 고체물등가팬텀에서는 관심 영역 CT값을 확인하고, 전산화 치료계획을 사용하여 에너지에 따른 선량변화를 분석하였다.

대상 및 방법

1. 실험 재료

영상 교정 팬텀으로 Catphan 504 팬텀(The Phantom Laboratory, USA)을 사용했다. 조직 대체 물질을 사용하며 원통형 모양으로 내부 지름이 15 cm이고 4개의 modules로 구성되어 있다. 그 중에 하나인 CTP404 module을 사용하였다(Fig. 1).⁽³⁾ 각 물질의 상대전자밀도는 다음과 같다(Air 0.001, Polymethylpentene (PMP) 0.853, Low density polyethylene (LDPE) 0.945, Polystyrene

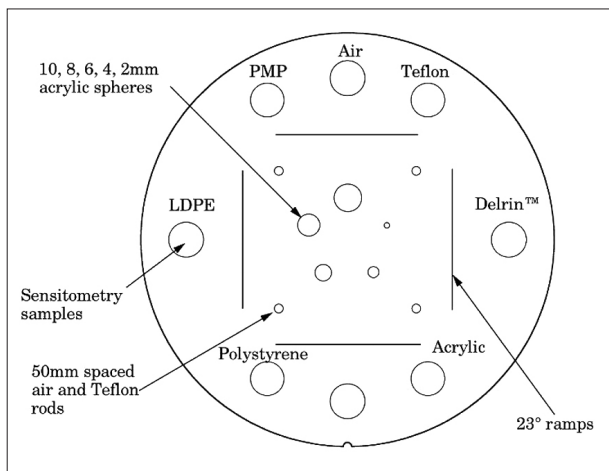


Fig. 1. A image of the CTP404 module

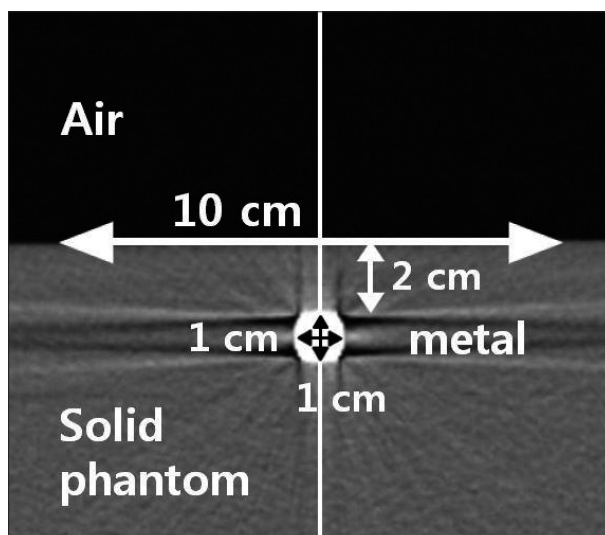


Fig. 2. Geometry used for the solid water-equivalent phantom calculations

0.998, Acrylic 1.147, Delrin[®] 1.363, Teflon[®] 1.868).

실험에 사용한 선량 측정용 고체물등가팬텀은 백색 폴리스틸렌(RW3, PTW, Germany)이다. 표면으로부터 2 cm 아래에 가로, 세로 1 cm 두께, 길이 35 cm의 stainless steel(SUS Type 316L) 금속 사각봉을 삽입했다(Fig. 2). 금속 밑으로 10 cm 두께의 폴리스틸렌을 위치시켰다.

모든 검사는 이중선원 듀얼에너지 CT scanner(SOMATOM Definition Flash, Siemens Healthcare, Germany)를 이용하여 시행하였다. Catphan 팬텀의 scan은 다음 매개변수(parameter)를 사용하여 획득하였다. 가상 단색 영상을 위해 듀얼에너지 관전압은 tube A는 80 kVp, tube B는 Sn 140 kVp로 하였다. 각각의 관전류는 210 mAs와 105 mAs였다. slice thickness는 2.0 mm로 하였고, Pitch와 Rotation time은 0.7과 1.0 sec였다. 다색 영상은 120 kVp, 145 mAs로 하였다. slice thickness 2.0 mm, Pitch 1.0, Rotation time 0.33 sec였다. 고체물등가팬텀에 사용된 매개변수를 나타내었다(Table 1). 단색 영상 획득을 위해서 Syngo dual energy software 이용하였다.

2. 실험 방법

영상 교정 팬텀을 위한 실험으로 single energy CT을 사용하여 임상 영상 평가의 기준이 되는 120 kVp 다색 영상을 획득했다. 가상 단색 영상은 40 keV에서 140 keV의

Table 1. Scan parameter for the solid water-equivalent phantom

Scan type	Mode	
	Dual energy	Single energy
Tube voltage¤t	80 kVp, 210 mAs Sn 140 kVp, 105 mAs	120 kVp, 89 mAs
Thickness/Increment	5 mm/5 mm	5 mm/5 mm
Pitch factor	0,7	1,0
Rotation time	1,0 sec	0,33 sec
CTDI _{vol}	5,98 mGy	5,99 mGy
DLP	223,7 mGy*cm	232,1 mGy*cm
Kernel	D30s medium smooth	B31f medium smooth +
FOV	360 mm	360 mm

범위로 하였으며, 간격은 10 keV로 설정하였다. 분석값을 이용하여 각 물질에 대한 CT number의 변화를 살펴보았으며, 평균값을 제공하기 위해서 3번 평가하였다. 삽입 물질 영역 안으로 66,18 mm² 관심 영역(ROI)을 설정하였다. 그리고 CT number를 전자밀도로 교정하여 CT-ED 변환 곡선을 획득했다.

고체물등가팬텀 실험을 위해서 4개의 새로운 가상 단색 에너지 영상을 만들었다. 단색 에너지는 64, 69, 88, 105 keV 를 선택했다. 표준 120 kVp 스펙트럼의 평균 에너지가 64 keV와 일치한다. 140 kVp는 69 keV와 일치하며, 추가 0,1 mm 두께 주석 필터로 되어 있는 140 kVp 스펙트럼은 88 keV와 일치한다.⁽⁴⁾ 105 keV는 비교하기 위해서 선택했다. 그리고 기준 영상으로 single energy CT에서 120 kVp 다색 영상을 획득했다. 3개의 ROI를 설정하여 CT number와 표준편차를 측정하였다. 획득한 5개의 영상 자료를 Eclipse

Treatment Planning System(Eclipse TPS, v8.6, Varian Medical Systems, Palo Alto, CA)으로 전송시켰으며, 치료 계획수립은 10 MV 광자선, 조사야 10×10 cm², SSD 100 cm, 갠트리 각도 0°로 하였다. 300 MU/min 선량률과 100 MU 조사선량을 전달하여 치료계획을 비교하였다.

결 과

1. 영상 교정 팬텀의 CT number 평가

40에서 140 에너지 범위의 단색 영상 CT number를 나타낸 것이다(Table 2). 낮은 단색 에너지 수치에서 평균 값이 증가했으며 40 keV 단색 영상이 가장 큰 증가를 보였다. Polystyrene, Acrylic, Delrin이 70 keV 이상의 단색 영상에서 안정적인 CT number를 나타내었다. Teflon®(전

Table 2. Distribution of polychromatic and monochromatic CT numbers according to energy levels

Density Insert	Energy level keV(p)							
	Poly	40	60	70	80	100	120	140
Air	-986	-994	-999	-998	-997	-997	-996	-996
PMP	-167	-292	-206	-186	-173	-159	-151	-147
LDPE	-76	-216	-117	-94	-80	-63	-55	-50
Polystyrene	-22	-144	-56	-35	-22	-7	0	4
Acrylic	125	40	106	121	131	142	148	151
Delrin	339	290	335	345	352	360	363	366
Teflon	990	1133	985	951	929	904	891	884

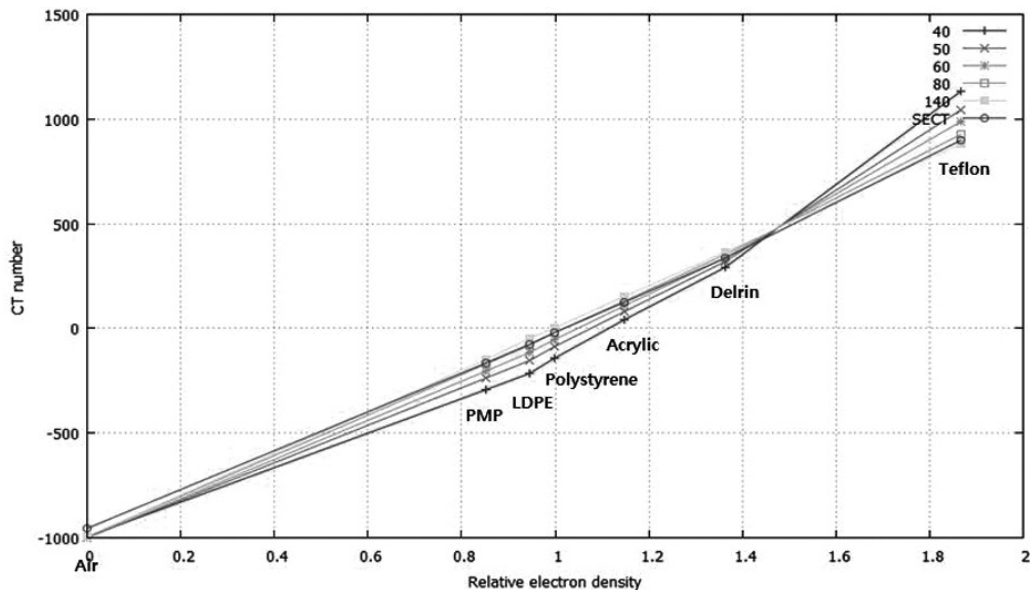


Fig. 3. Relationship between electron density relative to water and CT number (HU) of the materials in the catphan phantom at various energy

자밀도 1023 e/cm³: 6,243)은 에너지에 따라서 감약 차이가 가장 높았으며, 10 keV 수치 상승으로 Teflon®의 CT number가 평균 2.48 % 감소했다. Air는 에너지 의존성이 없었다.

다음 그래프는 CT-ED 변환 곡선이다(Fig. 3). CT number가 0인 지점을 살펴보면 80 keV 이상의 단색 영상 곡선이 서로 비슷했다. 곡선의 모양은 80 keV 단색 영상과 120 kVp 단색 영상이 비슷했다. 140 keV 단색 영상에서 쌍선형 관계는 거의 일직선이 되었다.

2. 고체물등가팬텀의 영상 화질과 치료계획 선량 평가

ROI 위치를 3가지로 분류하였다. 에너지 별로 ROI의 평

균과 표준편차를 나타내었다(Table 3). 88 keV 에너지의 ROI 1 평균값은 153 ±31.62, ROI 2는 25 ±14.16, 그리고 ROI 3은 -8 ±16.31로 나타났다. ROI 1에서 105 keV 단색 영상의 SD값은 25.87로 64 keV 단색 영상보다 낮게 나타났다. 120 kVp 단색 영상은 69 keV 단색 영상 결과값에 가까웠다. 줄무늬 인공음영의 영향이 적은 ROI 3에서는 에너지가 증가할수록 CT number가 조금씩 증가했다. 가상 단색 영상의 에너지가 증가할수록 금속의 식별 능력이 향상되었다. 단색 영상의 인공음영은 105 keV에서 높은 감소를 보였다. 금속 주위의 줄무늬 인공음영은 감소되었으나 여전히 남아있었다(Fig. 4).

치료계획시스템에서 계산된 방사선량측면도(dose pro-

Table 3. The mean CT number and SD for several regions of interest on the solid water-equivalent phantom

Region	Energy level				
	Polychromatic (120 kVp)	64 keV	69 keV	88 keV	105 keV
ROI 1 surrounding (4 cm)	173 ±29.94	198 ±59.47	185 ±50.45	153 ±31.62	139 ±25.87
ROI 2 surrounding (5 cm)	3 ±13.60	-35 ±39.28	-17 ±28.60	25 ±14.16	44 ±20.51
ROI 3 surrounding (6 cm)	-20 ±26.10	-34 ±33.15	-26 ±26.39	-8 ±16.31	10 ±16.98

AV(Average) ±SD(Standard Deviation)

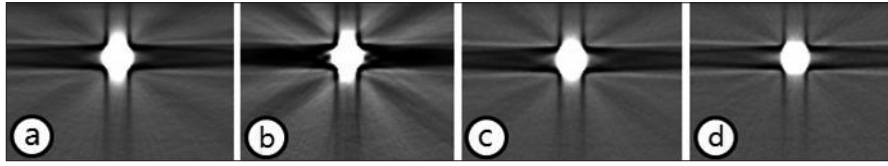


Fig. 4. The sets of images following polychromatic and virtual monochromatic energy levels : (a) single energy CT (120 kVp), (b) 64 keV, (c) 88 keV, (d) 105 keV

Table 4. Comparison of calculated dose profiles by depth

Depth (cm)	Dose (cGy)				
	Polychromatic (120 kVp)	64 keV	69 keV	88 keV	105 keV
4 cm	90.349	90.110 (-0.264 %)	90.183 (-0.183 %)	90.888 (0.596 %)	90.936 (0.649 %)
5 cm	86.591	86.406 (-0.213 %)	86.490 (-0.116 %)	87.141 (0.635 %)	87.182 (0.682 %)
6 cm	82.931	82.821 (-0.132 %)	82.840 (-0.109 %)	83.476 (0.657 %)	83.501 (0.687 %)
7 cm	79.459	79.385 (-0.093 %)	79.394 (-0.081 %)	79.940 (0.605 %)	79.948 (0.615 %)

file) 값을 보여준다(Table 4). 120 kVp 다색 영상과 큰 차이는 105 keV 단색 영상으로 나타났으며 에너지 백분율 차이는 평균 0.658 %였다. 105 keV 단색 영상의 6 cm 깊이에서 single energy CT값과의 차이가 +0.687 %로 가장 크게 나타났으나 다른 깊이와의 차이는 크지 않았다. 에너지가 증가할수록 양의 값으로 백분율 차이가 증가했다. 전체적으로 다색 영상과 가상 단색 영상 사이의 차이는 ± 0.7 % 이내였다.

고안 및 결론

방사선치료계획은 처방 흡수선량을 획득하기 위한 치료의 준비 과정이며 최적화를 고려해야 한다. 선량 계산에 있어서 CT number (HU)는 방사선 전달을 보여주기 위한 정량적 자료를 제공한다. 이 자료는 서로 다른 치료 계획을 평가하기 위해 방사선치료계획을 할 때 사용된다. 측정 CT number 오차는 영상에 사용된 물질과 단색 에너지에 의존한다.⁵⁾ Catphan 팬텀의 싱글에너지 CT number -200과 200 HU 사이 범위에서 최소 차이는 80 keV 단색 영상이었다. 측정된 CT numbers의 차이는 ±6 HU 사이였

다. CT number는 높은 밀도 물질에서 급격하게 변화했다. CT number의 변화 정도가 높은 이유는 콤프턴효과보다 광전효과 영향이 크기 때문이다. 저에너지에서 광전효과 개연성은 원자번호와 비례한다. 반대로, 콤프턴효과는 광자 에너지가 증가하면서 우세해지며, 원자번호와는 관계가 없게 된다. 연조직 등가물질(<200HU)은 에너지 의존도가 크지 않았고, 70 keV 이상에서 안정한 CT number를 나타냈다. 일반적으로 CT number는 방사선 치료 영역, 즉 콤프턴효과 영역에서는 흡수선량의 변수인 전자밀도와 선형을 이루지 못한다. 그러므로 선량계획은 CT number를 전자밀도로 변환시킬 필요가 있다. 단색 영상의 CT-ED 변환 곡선에서 알 수 있듯이 140 keV 단색 영상에서 선량관계가 유사하게 관찰되었다. 콤프턴효과를 고려해볼 때, 고에너지 단색 영상을 사용하는 것이 좀 더 정확한 선량계산을 수행할 수 있다고 생각한다.

CT 자료는 환자 윤곽, 표적 체적, 위험 기관을 기술할 뿐만 아니라 치료 계획 시스템에 μ -value를 제공한다. 영상의 질과 추출한 μ -values의 정확성을 최적화하기 위해서 인공음영의 근원을 최소화하는 것이 중요하다. 합성된 단색 영상에서 볼 수 있듯이 인공음영은 높은 에너지 영상보다 낮은 에너지 영상에 훨씬 더 퍼져있다는 걸 알 수 있다.

높은 단색 에너지 영상에서는 인공음영이 상당히 사라졌으며, 단색 영상 88 keV 이상의 설정에서 잡음 수치가 낮게 나타났다. 실제로 합성 영상이 단색이라면 금속에 영향을 받지 않을 것이다. 하지만 금속 주위에 줄무늬 인공음영이 있기에 실제로는 단색 영상이 아니었다. 이러한 이유는 투영 영역이 아닌 영상 영역에서 생성된 가상 단색 영상은 불완전한 보정이 이루어져서 여전히 선속 경화 인공음영을 포함하기 때문이다. 고체물등가팬텀 실험에서 알 수 있듯이 단색 영상은 CT number 정확성을 증가시키고, 잡음을 대체적으로 감소시켰다. 69 keV 단색 영상보다 105 keV 단색 영상의 인공음영이 감소한 이유는 DECT scan 에너지 140 kVp와 80 kVp 중에 높은 에너지 투영 자료 정보의 비율이 높기 때문이다. 높은 에너지 투영은 낮은 에너지 투영과 비교해서 감소된 선속 경화를 보인다. 감소된 선속 경화는 105 keV 가상 단색 영상의 감소된 인공음영으로 나타난다. Changsheng Zhou et al. 에 따르면 단색 CT 재구성 영상은 인공관절에 의해 생기는 인공음영을 감소시킬 수 있는 긍정적인 결과를 보여줬다.⁽⁶⁾ 감소된 선속 경화 인공음영은 단색 영상의 주요한 이득 중 하나라고 생각된다.

선속 경화 인공음영은 물질의 실제 감약계수와 CT number 사이에 차이를 일으킨다. HU의 오차는 부정확한 밀도를 부여하며, 선량 계산 오차의 원인이 된다. Kilby et al. 연구를 보면 6 MV 광자선 치료에서 40 HU의 오차는 대략 1~2 % 선량 계산 오차와 일치하는 걸로 나타났다.⁽⁷⁾ 본 고체물등가팬텀 실험에서 다색 영상의 HU값을 가상 단색 영상과 비교했을 때 최대 차이는 41 HU 였다. 단색 에너지가 증가함에 따라 치료계획 선량값이 증가했으며 기준 다색 에너지와 비교했을 때 치료계획의 선량학적 차이는 ± 0.7 % 미만이었다. 일반적으로 계산 선량의 허용 수치를 5 % 이내로 권고하지만, 본 실험의 수치는 관전압에 의한 차이를 나타낸 것이 중요하다.⁽⁸⁾ 에너지 변환에 따른 영상 간의 방사선량측정도 차이가 ± 0.7 % 미만인 것을 고려해보면 치료계획상의 선량학적 영향은 매우 적다고 할 수 있다. 치료하는 부위와 관점에 따라서 적절한 영상을 선택할 필요가 있다고 생각한다.

가상 단색 영상은 추가적인 방사선량 없이 사용할 수가 있다. 이는 환자가 받는 방사선량을 최소화하는데 도움을 줄 수 있다. 방사선 노출과 관련해서 이중선원에 기반한 듀

얼에너지 CT는 같은 부위의 일반적인 CT보다 높은 환자 선량을 요구하지는 않는다. 본 실험에서 사용한 고체물등가팬텀의 매개변수 CTDIvol은 비슷했지만, DLP값이 싱글 에너지 CT값에 비해 3.6 % 감소하였다. 획득한 듀얼에너지 CT scan에서 선량 감소효과가 있었다. 한편 2021년까지 인공관절의 세계 시장 연평균 성장률은 3.5 %로 예측되며, 국내 인공관절 치환술 관련 의료 수요는 지속적으로 나타나는 걸로 확인됐다.^(9,10) 이러한 상황은 CT 검사 중에 금속 물이 있을 경우 인공음영의 교정과 관리를 필요로 한다. 본 연구에는 몇 가지 제한점이 있었다. 영상의 화질은 인공 삽입물 구성성분과 다른 매개변수에 영향을 받을 수 있다. 스테인레스강 외에 임상에서 사용되는 코발트-크롬과 티타늄 합금의 연구도 진행할 필요가 있다. 또한 금속 주변에 실제 인체 장기와 같은 다양한 감약 물질을 포함한 연구가 추가적으로 필요하다고 생각한다.

본 연구에서는 가상 단색 영상을 이용하여 영상 교정 팬텀과 선량 측정용 고체물등가팬텀 실험을 진행하였다. 영상 교정 팬텀 실험에서 방사선 치료를 위한 가상 단색 영상의 적절한 임상 에너지 범위는 70 keV 이상이었다. CT-ED 곡선은 140 keV 에서 선형관계를 나타냈다. 그리고 금속이 함유된 고체물등가팬텀 실험에서는 에너지가 증가할수록 선속 경화 인공음영이 감소하였고, 방사선치료계획의 선량학적 차이는 ± 0.7 % 미만으로써 차이가 적었다. 듀얼 에너지 영상의 획득은 싱글에너지에 비해 피폭선량을 감소시킬 수 있으며, 재구성된 가상 단색 영상은 CT number의 정확성을 향상시켰다. 향상된 영상의 질은 방사선치료계획 중에 인체의 기하구조 묘사와 전자 밀도 분포에 도움이 되리라 생각한다. 또한 치료 계획 최적화와 검증에 있어서 이득이 있으며, 금속 인공음영의 감소는 치료계획의 시간을 절약할 수 있을 것이다. 현재 방사선종양학과에서는 CT 영상의 재구성에 의해 얻어진 특수한 영상기법들을 활용하여 보다 정량적인 치료계획을 실시하고 있다. 본 실험을 통해 방사선 치료 과정 중에 가상 단색 영상의 임상 적용이 가능하리라 사료된다.

참고문헌

1. Fornaro J, Lescka S, Hibbeln D, et al.: Dual- and multi-energy CT: approach to functional imaging, Insights Imaging 2011; 2:149-159
2. Barrett JF, Keat N.: Artifacts in CT: recognition and avoidance, Radiographics 2004; 24: 1679-91
3. The Phantom Laboratory, Salem, NY, Catphan® 504Manual, 2013
4. Fabian Bamberg, Alexander Dierks, Konstantin Nikolaou, et al.: Metal artifact reduction by dual energy computed tomography using monoenergetic extrapolation, Eur Radiol 2011; 21:1424-1429
5. Montner SM, Lehr JL, Oravez WT.: Quantitative evaluation of a dual energy CT system, Journal of Computer Assisted Tomography 1987; Jan-Feb;11(1):144-50
6. Zhou C, Zhao YE, Luo S, et al.: Monoenergetic imaging of dual-energy CT reduces artifacts from implanted metal orthopedic devices in patients with fractures, Acad Radiol 2011; Oct;18(10):1252-7
7. Kilby W, Sage J, Rabett V.: Tolerance levels for quality assurance of electron density values generated from CT in radiotherapy treatment planning, Phys Med Biol 2002; 47:1485-92
8. Ravinder Nath, Peter J. Biggs, Frank J. Bova, et al.: AAPM Code of Practice for Radiotherapy Accelerators, report of AAPM radiation therapy task group 45, Medical Physics 1994; July: Vol. 21
9. Orthopedic Devices [Hip, Knee, Other Joint Reconstruction] Market, Global, 2014-2021, USD Constant Millions, Global Data
10. 건강보험심사평가원 의료행위통계(N2072, N0711, N2071)

Study on the calibration phantom and metal artifacts using virtual monochromatic images from dual energy CT

Department of Radiation Oncology, Chonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea
Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University-Biomedical Research Institute, Chonbuk National University Hospital*, Jeonju, Korea

Lee Jun seong, Lee Seung hoon, Park Ju gyung, Lee Sun young*, Kim Jin ki

Purpose: To evaluate the image quality improvement and dosimetric effects on virtual monochromatic images of a Dual Source-Dual Energy CT(DS-DECT) for radiotherapy planning.

Materials and Methods: Dual energy(80/Sn 140 kVp) and single energy(120 kVp) scans were obtained with dual source CT scanner. Virtual monochromatic images were reconstructed at 40-140 keV for the catphan phantom study. The solid water-equivalent phantom for dosimetry performs an analytical calculation, which is implemented in TPS, of a 10 MV, 10×10 cm² photon beam incident into the solid phantom with the existence of stainless steel. The dose profiles along the central axis at depths were discussed. The dosimetric consequences in computed treatment plans were evaluated based on polychromatic images at 120 kVp.

Results: The magnitude of differences was large at lower monochromatic energy levels. The measurements at over 70 keV shows stable HU for polystyrene, acrylic. For CT to ED conversion curve, the shape of the curve at 120 kVp was close to that at 80 keV. 105 keV virtual monochromatic images were more successful than other energies at reducing streak artifacts, which some residual artifacts remained in the corrected image. The dose-calculation variations in radiotherapy treatment planning do not exceed ± 0.7 %.

Conclusion: Radiation doses with dual energy CT imaging can be lower than those with single energy CT imaging. The virtual monochromatic images were useful for the revision of CT number, which can be improved for target coverage and electron densities distribution.

▶ **Key words:** Virtual monochromatic image, CT number, Metal artifacts