

4D-CT와 호흡동조시스템을 이용한 간암 환자의 방사선치료 표적 움직임 분석

동경래^{*†}, 박병수[‡], 김새싹^{||}, 권대철[§], 구은희^{||,¶}, 정운관[†]

^{*}광주보건대학 방사선과, [†]조선대학교 원자력공학과, [‡]삼성의료원 방사선종양학과, [§]신홍대학 방사선과,
^{||}서울대학교병원 영상의학과, [¶]순천향대학교 물리학과

2010년 2월 23일 접수 / 2010년 5월 18일 1차수정 / 2010년 5월 28일 2차수정 / 2010년 6월 9일 3차수정 / 2010년 6월 10일 채택

방사선치료의 최대 목표는 정상조직을 보호하고 종양부위에 방사선량을 충분히 조사하는 것이다. 그 중에서 환자호흡에 의한 문제점을 보완하기 위해 환자호흡에 따른 주기적 움직임을 분석하여 안정된 일정영역에서만 방사선이 조사되도록 하는 호흡동조방사선치료 방법이 임상에서 활용되고 있다. 본 논문은 특히 호흡에 의해 움직임 영향을 많이 받는 간암 환자 40명을 대상으로 실제 방사선 치료 계획에 이용되는 4D-CT와 호흡동조방사선 치료에 사용하는 RPM을 이용하여 간암의 움직임을 환자의 나이, 성별 및 움직임 방향으로 나누어 분석하였다. 움직임의 변화는 방향으로는 right-left(3.19 ± 1.29), anteroposterior(5.44 ± 2.07), craniocaudal(12.54 ± 4.70 mm)이었고, 이는 성별과 관련이 없고 나이가 고령일수록 움직임이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 호흡에 의해 움직임으로 인한 치료부위의 방향이 변화가 생김으로 RPM 호흡동조방사선 치료로 움직임에 대한 보정을 실시하여 간암 치료에서 치료효과를 높일 수 있다.

중심어: 호흡동조방사선치료, 4차원 전산화단층촬영, 간암

1. 서론

방사선치료에서 정확한 표적종양 치료가 가능하게 하는 치료법으로 3차원 입체조형치료(3D conformal radiation therapy), 정위방사선치료, 세기변조 방사선치료(IMRT)는 3차원 공간에서 방사선분포를 제어하여 정밀한 방사선치료 방향으로 발전해가고 있고, 이런 치료법은 정확한 시점 및 정확한 위치에 빔이 전달되어야 치료를 극대화할 수 있다[1]. 이러한 방사선치료의 궁극적인 목표는 종양부위에는 방사선량을 충분히 조사하고 주위 정상조직에는 방사선량을 최소화하는 것이다[2]. 따라서 방사선 치료에서는 환자호흡에 의한 치료부위의 움직임 영향을 줄이기 위해 환자복부에 배치한 적외선, 반사체 표식자의 호흡에 따른 주기적 움직임을 분석하여 안정된 일정영역에서만 방사선이 조사되도록 하는 호흡동조방사선치료 방법이 임상에서 활용되고 있다[3]. 환자의 흉부와 복부부위에서는, 호흡에 의한 내부 장기 움직임이 발생하여 정확한 방사선치료가 어렵기 때문에 일반적으로 호흡에 의한 환자의 내부적 움직임 변위는 투시, CT (computed tomography), 초음파를 이용한 연구를 통해 획득한 영상

데이터로 측정한다. 내부 장기 움직임 변위를 구체화하기 위해서 현재에도 많은 연구가 진행되고 있다.

대부분 내부 장기의 움직임에 관한 연구에서는 CT 영상을 기본으로 얻고 있으며, 이는 환자의 호흡을 멈춘 상태에서 CT 스캔 기법을 사용한다. 4D-CT (four-dimensional computed tomography) 스캔은 환자의 호흡이 자유호흡법 (free breathing) 상태에서 내부 장기의 움직임을 나타낼 수 있는 장점이 있다. 또한 4D-CT와 호흡동조시스템인 RPM (real time position management) 을 동조하여 CT 스캔할 경우 환자의 호흡 cycle을 얻어 내부 장기의 움직임을 알 수 있어 방사선 치료에서 내부 장기의 피폭을 줄이고, 종양부위에 충분히 방사선량을 조사할 수 있다[4].

본 연구에서는 특히 호흡에 의해 움직임 영향을 많이 받는 간암 환자를 대상으로 실제 방사선 치료 계획에서 환자의 해부학적 정보를 이용하여 치료계획에 이용되는 4D-CT와 호흡동조방사선 치료에서 사용하는 RPM를 이용하여 간암환자를 대상으로 성별, 나이, 방향에 따른 움직임의 변화를 측정하여 보고하고자 한다.

책임저자: 권대철, dckweon@shc.ac.kr, 신홍대학 방사선과
경기도 의정부시 호원1동 117번지

2. 대상 및 방법

2.1 연구 대상

대상 환자는 간암 치료 받은 환자 40명을 대상으로 연구 하였으며, 진단명은 간세포암(hepatocellular carcinoma, HCC) 환자로 간 부위를 방사선 치료하는 환자들이다. 실제 방사선 치료 전 시뮬레이션 과정에서 4D-CT 스캔 전에 자신의 호흡을 일정하도록 하기 위하여 사전에 호흡연습을 시행한 환자를 대상으로 하였다.

2.2 호흡동조 방사선 치료 시스템

방사선치료는 환자의 몸속에 꼭 필요한 만큼만 방사선이 주어지도록 방사선의 분포를 조절하는 것이 이상적이다. 그러나 환자의 치료에서 호흡에 의한 몸의 움직임은 환부의 방사선 조사량을 떨어뜨리고 주위 정상조직으로의 방사선 유출을 가져올 수 있다. 호흡동조 방사선치료는 이러한 호흡으로 인한 내부 장기 움직임을 예상하여 의도한 병소에만 방사선을 조사할 수 있는 방사선치료이다.

RPM 장치는 CT와 게이트 접촉장치를 통하여, CT로부터 엑스선 on 신호를 되받아 호흡위상신호와 함께 기록함으로써 연속촬영(cine) 모드로 촬영된 CT데이터셋을 후향적으로 호흡위상별로 분리하여 호흡위상별 CT데이터를 얻을 수 있는 4D-CT 기능을 제공한다. 또한 RPM으로 추적된 특정 호흡위상에서 트리거신호를 반복적으로 CT에 입력시켜 트리거신호가 주어진 시점으로부터 일정 시간간격으로 데이터를 분리, 수집하여 호흡과 동기화된 CT 데이터셋을 얻을 수 있다. 이러한 호흡운동추적장치로는 Real Time Position Management (Varian Medical System, Palo Alto, CA) 장치를 사용하였고, 환자 호흡 관련 영상신호를 획득하는 카메라 시스템과 그 신호를 분석하여 방사선 조사 구간을 설정하는 프로그램으로 구성되어 있다. RPM 장치는 먼저, 환자의 복부 위에 적외선을 반사하는 표지자(marker)가 부착되어 있는 소형 플라스틱 박스를 고정하여, 환자의 호흡에 따라 표지자가 상하로 움직이도록 한다. 이 표지자의 위치를 환자테이블 끝에 고정시킨 적외선용 CCD 카메라가 초당 30프레임의 속도로 포착하고 소프트웨어가 그 위치를 실시간으로 분석하여 호흡위상 신호를 생성한다. RPM 시스템 구성요소 중에 illuminating ring에서는 적외선을 방출하고, 환자 복부에 올려놓은 플라스틱 상자에 부착되어 있는 적외선 반

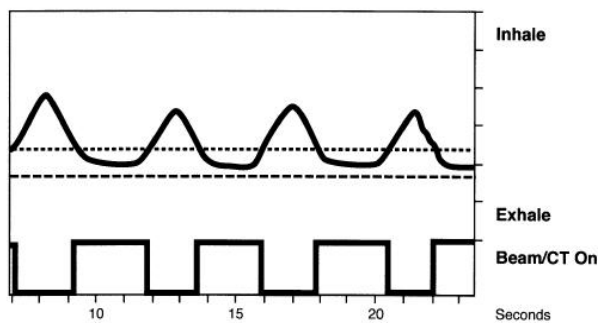


Fig. 1. The graph by the movement of the plastic case placed with the abdomen of a patient.

사 물질의 표식자 움직임 영상을 CCD 카메라로 획득하여 분석 프로그램이 운영되는 컴퓨터로 전송한다. Figure 1은 카메라 영상 신호 분석 프로그램을 사용하여 방사선 조사 구간을 설정한 예로서 표식자 진폭의 일정 안정영역으로 설정한 결과와 표식자의 움직임의 주기에서 일정 위상 영역으로 설정한 결과를 보여주고 있다.

2.3 4D-CT 데이터 획득

본 연구에서 즉, 4D-CT (Lightspeed RT 16, GE Medical Systems, Milwaukee, WI)를 이용하였으며, Advantage Workstation (General Electric Medical Systems, Waukesha, WI) 으로 이미지를 전송, 재구성하였다. 4D-CT 스캔에서 2.5 mm slice thickness로 스캔하였으며 스캔 범위를 실제 치료의 표적이 되는 간 전체를 스캔하였다. 스캔방법은 나선식 스캔으로 1회 간 전체를 스캔한 후 Figure 2와 같이 RPM respiratory gating system과 연동하여 연속촬영 모드로 영상을 획득하였다.

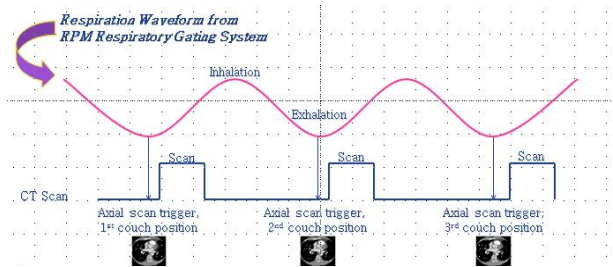


Fig. 2. Phase by phase 4D-CT images can be acquired from respiration data of RPM respiratory gating system.

2.4 영상 분석 및 방법

영상 분석 방법을 40명 대상의 환자의 4D-CT 스캔하여 advantage workstation을 가지고 재구성한 영상을 분석하였으며 RPM 시스템을 이용하여 환자의 호흡 사이클을 10단계의 위상(phase)으로 나누어, 0부터 90까지 각각 위상의 영상을 재구성 하였다. 이때 0% 위상 영상은 흡기(inhalation)의 영상이며, 50% 위상 영상의 호기(exhalation) 영상이다(Fig. 3). 그리고 각 위상에서 AP (anterior-posterior), LR (left-right), CC (craniocaudal) 방향의 최대 이동거리를 분석하였다.

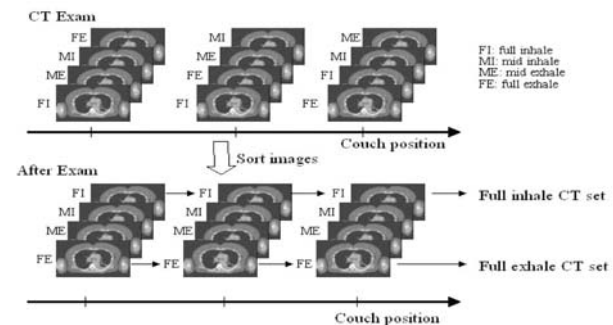


Fig. 3. The RPM file and CT images are loaded to an Advantage Workstation.

2.5 통계처리

자료 분석을 위하여 SPSS 통계프로그램(version 15.1; SPSS Inc, Chicago, IL)을 이용하였으며 성별에 따른 움직임 비교는 independent samples t-test를 시행하였으며 방향(LR, AP, CC) 및 나이에 따른 움직임 분석은 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 비교 분석하였다. 또한 ANOVA 분석에서 집단 간 유의한 차이가 파악되는 경우 사후검정방법으로서 Scheffe의 사후분석을 이용하였다. 본 연구에서는 성별과 방향 및 나이에 따른 움직임 분석은 p값이 0.05미만 일 때 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

3. 결과

40명의 간암환자를 대상으로 성별에 따른 움직임을 분석한 결과에서 LR 방향에서 남자는 2.96±1.38 mm, 여자 3.53±1.15 mm, AP 방향에서 남자는 4.84±2.26 mm, 여자 6.33±1.45 mm, CC 방향에서 남자 12.47±3.55 mm, 여자 12.65±3.73 mm 이었고, LR 방향 및 AP 방향에서는 여자가 비교적 움직임의 영향이 높았으며, CC 방향에서는 큰 차이를 보이지 않았고, 통계적으로 유의하지 않았다(Table 1).

Table 1. Analysis of Tumor Movement according to Gender.

Direction	Gender	N	Movement distance		T	p-value
			Mean±SD (mm)			
LR (left-right)	Male	24	2.96±1.38		-0.962	0.349
	Female	16	3.53±1.15			
AP (anterior-posterior)	Male	24	4.84±2.26		-1.646	0.117
	Female	16	6.33±1.45			
CC (craniocaudal)	Male	24	12.47±3.55		-0.106	0.917
	Female	16	12.65±3.73			

Note: Interaction effect using t-test model.

방향에 따른 움직임 분석에 대한 비교 실험 결과 LR 방향에서 평균 3.19±1.29, AP 방향에서 5.44±2.07 mm, CC 방향에서 평균 12.54±4.70 mm 으로 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(F=77.371, p<0.001). Scheffe의 사후검증 결과 CC 방향의 움직임이 가장 크게 나타났으며, AP, LR 순으로 파악되었다(Table 2).

Table 2. Analysis of Tumor Movement according to Direction.

Direction	N	Movement distance		F	p-value
		Mean±SD (mm)			
LR(left-right)	40	3.19±1.29		77.371	0.000***
AP(anterior-posterior)	40	5.44±2.07			
CC(craniocaudal)	40	12.54±3.53			
Total	120	7.06±4.70			

Note) post-hoc test of Scheffe. The group of same alphabet means the same group of average level. The alphabet order means a difference between groups. ***p<0.001

나이에 따른 LR 움직임을 분석한 결과 40~49세는 1.66±0.15 mm, 50~59세 2.56±1.14 mm, 60~69세 3.86±1.10 mm, 70~79세 5.10±1.60 mm으로 나타난 것으로 보아 고 연령층이 저 연령층에 비해 상대적으로 움직임이 큰 것으로 보이며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(F= 7.492, p<0.01). Scheffe의 사후검증 결과 70~79세가 가장 높았으며, 60~69세, 50~59세, 40~49세 순으로 파악되었다(Table 3).

Table 3. Left-right Movement according to Patient's Age.

Age	N	Movement distance		F	p-value
		Mean±SD (mm)			
40~49	6	1.66±0.15		6.161	0.005**
50~59	10	2.56±1.14			
60~69	18	3.86±1.10			
70~79	6	5.10±1.60			
Total	40	3.39±1.50			

Note) post-hoc test of Scheffe. The group of same alphabet means the same group of average level. The alphabet order means a difference between groups. **p<0.01

나이에 따른 AP 움직임을 분석한 결과 50~59세에서 4.32±1.06 mm, 60~69세 5.86±1.91 mm, 70~79세 8.30±0.10 mm로 나타난 것으로 보아 고 연령층이 저 연령층에 비해 상대적으로 움직임이 큰 것으로 보이며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(F= 7.492, p<0.01). Scheffe의 사후검증 결과 70~79세가 가장 높았으며, 60~69세, 50~59세, 40~49세 순으로 나타났(Table 4).

나이에 따른 SI 움직임을 분석한 결과 40~49세에서 평균 12.36±3.25이고 50~59세 11.52±3.10 mm, 60~69세 12.20±3.44 mm, 70~79세 14.76±5.13 mm로 나타난 것으로 보아 고 연령층이 저 연령층에 비해 상대적으로 움직임이 큰 것으로 보인다. 그러나 통계적으로 나이에 따른 CC 방향의 변화는 유의하지 않은 것으로 나타났다(p>0.05)(Table 5).

Table 4. Anterior-Posterior Movement according to Patient's Age.

Age	N	Movement distance		F	p-value
		Mean±SD (mm)			
40~49	6	3.16±0.35		7.492	0.002**
50~59	10	4.32±1.06			
60~69	18	5.86±1.91			
70~79	6	8.30±0.10			
Total	40	5.44±2.07			

Note) post-hoc test of Scheffe. The group of same alphabet means the same group of average level. The alphabet order means a difference between groups. **p<0.01

Table 5. Craniocaudal Movement according to Patient's Age.

Age	N	Movement distance	F	p-value
		Mean±SD (mm)		
40~49	6	12.36±3.25	0.539	0.662
50~59	10	11.52±3.10		
60~69	18	12.20±3.44		
70~79	6	14.76±5.13		
Total	40	12.44±3.46		

Note) Interaction effect using one-way ANOVA model.

4. 고찰

암을 치료하기 위한 방사선치료는 정확하게 표적종양에 방사선을 조사하는 것이 필요하고, 계획한 대로 선량을 분할하여 치료를 시행하는 것이다. 이 두 가지를 실현하는데 걸림돌이 되는 원인중의 하나는 인체 내부의 일부 장기는 정지해 있지 않고 시간에 따라 움직인다는 것이다. 이러한 움직임은 진단을 목적으로 획득되는 해부영상에 오류나 부정확성을 유발하며, 치료목적으로 획득하는 영상에서 종양이나 위험 장기 형태의 왜곡을 유발한다. 또한, 종양의 움직임의 범위를 치료계획적으로 포함하여 치료를 하므로 표적종양을 포함하는 치료범위가 넓어지게 된다.

방사선치료에서 호흡에 의한 움직임은 매우 중요한 문제이다. 방사선치료 가속기를 호흡 동조시키면 방사선치료 중의 이러한 움직임을 줄일 수 있는 장점이 있다. 상용의 호흡동조 시스템은 환자의 체표에 붙여 호흡에 따른 위치 변동을 검출하는 위치 검출기가 있는데, 이것은 CT 및 모의치료촬영기, 전자식 조사문영상 (electronic portal imaging device, EPID) 등에 결합시켜 이용할 수 있으며, 동적 및 step-and-shoot 방식의 IMRT에도 적용이 가능하다. 특히 호흡동조를 이용하여 얻은 영상에서 장기의 움직임은 일반 영상에서보다 그 움직임이 작고 재현성 또한 좋아서 Gross Tumor Volume (GTV), Planning Target Volume (PTV) 의 설정에서 필요로 하는 여유 마진을 줄일 수 있다. 이로 인해 정상조직에 가해지는 방사선량은 최소로 하면서 종양부위에는 더 많은 선량을 가할 수 있게 된다.

환자의 호흡 때문에 발생하는 내부 장기의 움직임에 의해서 종양부위뿐만 아니라 정상조직에도 불필요하게 방사선이 조사되는 경우가 발생한다. 그러므로 환자 내부의 장기 움직임은 방사선치료에 있어 아주 중요하게 고려해야 할 사항이다[5-7]. 호흡은 감정적, 육체적 상황이나 각각의 시점에 따라 상호 연관되어 변화하고 매우 다른 패턴을 보이게 된다. 환자의 호흡을 모델화하고 반복된 연습을 통하여 습관화 한 후 치료계획을 실시하고 매 분할조사 시마다 미리 정해진 패턴으로 호흡을 유도하고 관찰할 경우에만 호흡동조 방사선치료는 소기의 목적을 이룰 수 있다[11].

본 논문에서는 호흡동조방사선 치료에서 사용하는

RPM과 4D-CT를 이용하여 간암환자를 대상으로 성별, 나이, 방향에 따른 움직임의 변화를 측정하였다. 4D-CT와 RPM을 연동하여 움직임을 측정하였을 때, LR, AP, SI 방향에서 움직임의 크기 차이와 성별은 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 움직임의 변화는 여자와 남자의 성별에 따른 움직임의 차이가 없으나, LR 방향, AP 방향에서 움직임의 크기는 나이에 따라 변화되었으며 통계학적으로 유의한 차이가 있었고, SI 방향에서는 유의하지 않았다. 나이가 고령일수록 움직임이 크다는 것을 알 수 있다. 또한 방향에 따른 움직임의 영향은 SI 방향이 가장 높았으며, AP 방향, LR 방향 순이었으며, 통계학적으로 유의한 차이가 있었다. 방향에 따른 움직임 분석에 대한 비교 실험 결과 Nishioka[8]의 연구와 비교하면 모든 방향에서 움직임은 7.06±4.70mm, 평균 3.92±1.94 mm 이었고, LR 방향에서 3.19±1.29mm, 4.19 ± 2.46mm, AP 방향에서 5.44±2.07mm, 7.23 ± 2.96mm, SI 방향에서 12.54±4.70, 15.98 ± 6.02 mm차이가 있었다. SI 방향에서 가장 움직임이 심하였다. 이는 호흡이 상하에 따른 영향으로 치료에서 호흡의 주지 규칙성과 호흡량을 일정하게 유지하도록 해야 한다[1]. 따라서 호흡에 의해 움직임으로 인한 치료부위의 방향이 변화가 생기므로 RPM 호흡동조방사선 치료로 움직임에 대한 보정을 실시하여 간암 치료에서 치료효과를 높일 수 있다. 호흡에 의해 발생하는 오차를 줄이기 위한 방법이 개발되고, 치료를 반복하여 생기는 오차를 줄이기 위한 정위 좌표계의 발달 및 종양의 위치를 정확히 알기 위하여 영상과 환자의 종양 내 표지자 위치가 중요하다. 본 연구에서는 움직임의 측정에서 표지자의 위치는 외부용 표지자를 사용하였다[9,10].

호흡조절방사선치료는 PTV를 최소로 하면서 정상조직을 최대한 보호할 수 있는 최신 치료기법이다. 그러나 이 치료법의 대전제는 호흡조절 감시 장치(RPM)가 관찰하는 움직임의 정도가 종양의 움직임을 정확하게 또는 용인 가능한 오차범위 이내에서 예측할 경우에만 적용 가능하다. 방사선치료에서 호흡조절방사선치료를 시행하기 위해서는 종양움직임의 정확한 예측은 무엇보다 중요하다[11]. 호흡조절방사선치료는 치료계획단계에서 움직임에 따른 호흡주기를 고려하여 치료를 결정하게 된다. 즉, 전 호흡 주기 중 선택한 구간에서의 영상정보를 근거로 종양부위와 인접된 주위장기를 고려하여 치료 PTV의 margin을 결정하게 된다[12,13].

일반적으로 방사선치료계획에서 정상조직 부작용확률 (Normal Tissue Complication Probability, NTCP)을 평가할 때 정상 간 용적에서 GTV를 제외한 체적에 부여되는 방사선피부곡선을 적용하기 때문에 PTV margin 을 줄이는 것이 정상조직손상확률을 최소화하기 위한 제 1 단계라 하겠다[14-16]. 두경부와 같이 치료 등 움직임이 거의 없을 경우 치료 간 오차를 최소화 하면서 PTV margin을 줄이려는 노력이 필요하겠지만 폐나 복부에 위치한 종양의 경우 종양의 움직임을 제한하면서 치료하는 호흡조절 방사선치료기법 등이 PTV의 margin 을 줄일 수 있는 좋은 해결방법으로 제안되고 있다[17-19]. 하지만 호흡조절 방사선치료에 이용되는 RPM 호흡동조 시스템은 치료의

정확성은 있으나 치료시간이 길어져 환자가 힘들어질 수도 있고 적외선반사체가 놓인 위치에 따라서 움직임 정도가 달라지기 때문에 사용 시 주의가 필요하다.

호흡신호를 매개체로 사용하는 방법들은 호흡이 안정된 일정한 주기로 이루어질 때에만 가능하며 호흡이 주기성을 갖지 못하거나, 내부 장기의 움직임이 호흡주기와 동조를 이루지 못할 경우 심각한 오차를 유발시킬 수 있다[20-21]. 그러므로 CT 촬영에서 환자의 호흡주기 및 호흡량과 방사선치료에서 호흡주기 및 호흡량이 다르게 되면 내부 장기의 움직임이 다르게 되어 치료계획에서 의도한 방사선량 분포를 재현할 수 없다. 따라서 호흡동조방사선치료에서는 규칙적이고 안정된 호흡주기 및 호흡량을 갖도록 환자를 교육하고 호흡을 연습하여 성별, 방향, 나이에 따른 방향의 움직임을 최소화 하도록 해야 한다.

5. 결론

본 연구는 4D-CT와 RPM 호흡동조 시스템을 이용하여 대상 환자들을 LR 방향, AP 방향, SI 방향에서의 움직임을 측정하여 움직임의 크기가 성별, 방향, 나이에서 간의 움직임의 변화는 성별과는 관련이 없고 SI 방향으로의 변화가 가장 크며 나이가 고령일수록 움직임이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 호흡에 의해 움직임으로 인한 치료부위의 방향이 변화가 생김으로 RPM 호흡동조 시스템으로 움직임에 대한 보정을 실시하여 간암 치료효과를 높일 수 있다.

참고문헌

1. 신은혁, 박희철, 한영이, 주상규, 신정석, 안용찬. 호흡 연습장치를 적용한 호흡교정법의 영향 평가. 대한방사선종양학회지 2008;26(3):181-188.
2. 권경태, 임상욱, 박성호, 권수일, 안승도, 최은경, 이상욱, 신성수, 김중훈. 호흡조절방사선치료를 위한 피부움직임과 종양움직임 차이 평가. 의학물리 2008;19(1): 14-20.
3. 송주영, 나병식, 정웅기, 안성자, 남택근, 윤미선. 위상기반 호흡연동 방사선치료 시 오차 분석 프로그램 개발. 의학물리 2006;17(3):136-143.
4. Wagman R, Yorke E, Ford E, Giraud P, Mageras G, Minsky B, Rosenzweig K. Respiratory gating for liver tumors: use in dose escalation. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2003;55(3):659-668.
5. Heinzerling JH, Anderson JF, Papiez L, Boike T, Chien S, Zhang G, Abdulrahman R, Timmerman R. Four-Dimensional computed tomography scan analysis of tumor and organ motion at varying level of abdominal compression during stereotaxic treatment of lung and liver. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2008;70(5):1571-1578.
6. Wunderink W, Romero AM, Osorio E, de Boer H, Brandwijk R, Levendag P, Heijmen B. Target coverage in image-guided stereotactic body radiotherapy of liver tumors. Int J Radiat Oncol Biol

- Phys. 2007;68(1):282-290.
7. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, Emery RS, KM Foster, Jiang SB, Kapatoes JM, Low DA, Murphy MJ, Murray BR, Ramsey CR, Wong JW, Yorke E. The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM TG 76. Med Phys. 2006;33(10):3874-3900.
8. Nishioka T, Nishioka S, Kawahara M, Tanaka S, Shirato H, Nishi K, Hiromura T. Synchronous monitoring of external/internal respiratory motion: validity of respiration-gated radiotherapy for liver tumors. Jpn J Radiol. 2009;27(7):285-289.
9. Gierga DP, Brewer J, Sharp GC, Betke M, Willett CG, Chen GT. The correlation between internal and external markers for abdominal tumors: implications for respiratory gating. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2005;61(5):1551-1558.
10. Brandner ED, Wu A, Chen H, Heron D, Kalnicki S, Komanduri K, Gerszten K, Burton S, Ahmed I, Shou Z. Abdominal organ motion measured using 4D CT. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2006;65(2):554-560.
11. Underberg RWM, Largerward FJ, Slotman BJ, Senan S. Benefit of respiration gated stereotactic radiotherapy for stage lung cancer an analysis of 4D CT datasets. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2005;62(2):554-560.
12. Rietzel E, Liu AK, Doppke KP, Wolfgang JA, Chen A, Chen G, Choi N. Design of 4D treatment planning target volumes. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2006;66(1):287-295.
13. Geld YV, Senan S, Lagerwaard F, Underberg R, Slotman B, Tinteren HV. Evaluating mobility for radiotherapy planning of lung tumors: a comparison of virtual fluoroscopy and 4D CT. Lung Cancer 2006;53(1):31-37.
14. Ramsy CR, Daniel Scaperoth D, Arwood D, Oliver AL. Clinical efficacy of respiratory gated conformal rherapy. Med Dosim. 2006;24(2):115-119.
15. Wagman R, Yorke E, Ford E, Giraud P, Mageras G, Minsky B, Rosenzweig. Respiration gating for liver tumors: use in dose escalation. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2003;55(3):659-668.
16. Lujan AE, Larsen EW, Balter JM, Ten Haken RK. A method for incorporating organ motion due to breathing into 3D dose calculations. Med Phys. 1999;26(5):715-720.
17. Balter JM, Lam KL, McGinn C, Lawrence T, Haken RT. Improvement of CT-based treatment planning models of abdominal target using static exhale imaging. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1998;41(4):939-943.
18. Balter JM, Ten RK, Lawrence T, Lam K, Robertson J. Uncertainties quantitation in CT-based radiation therapy treatment planning associated with patient breathing. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1996; 36(1):167-174.
19. Kubo HD, Hill BC. Respiration gated radiotherapy treatment: a technical study. Phys Med Biol. 1996;41:83-91.
20. Song JY, Nah BS, Jung WK, Ahn SJ, Nam TK,

Yun MS. Development of error analysis program for phase-based respiratory gating radiation therapy. Korean J Med Phys. 2006;17:136-143.
21. Lim S, Park SH, Ahn SD, et al. Guiding curve

based on the normal breathing as monitored by thermocouple for regular breathing. Med Phys. 2007;34:4514-4518.

Target motion analysis of the respiratory gated guided radiotherapy in liver cancer patients using 4D-CT

Kyung-Rae Dong^{*,†}, Byung-Soo Park[‡], Sae-Sark Kim^{||}, Dae-Cheol Kweon[§], Eun-Hoe Goo^{||,¶}, and Woon-Kwan Chung[†]

^{*}Department of Radiological Technology, Gwangju Health College University

[†]Department of Nuclear Engineering, Chosun University

[‡]Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center

[§]Department of Radiologic Science, Shin Heung College University

^{||}Department of Radiology, Seoul National University Hospital

[¶]Department of Physics, Soonchunhyang University

Abstract - The ultimate goal of radiation treatment is to use enough radiation dosage in order to examine a tumor while protecting normal tissue. Respiratory guided radiotherapy is being clinically implemented to examine a given stabilized area in order to compensate for the problems of patient breathing.

This study investigates the effects of breathing movements on 40 patients with liver cancer through the actual radiation therapy plan using 4D-CT and respiratory guided radiotherapy using RPM. Using a commercial RPM respiratory gating system 4D-CT, we acquired 4D CT on multislice helical CT scanners that use different approaches to 4D CT image reconstruction. The results from analyzing forty patients according to age and direction showed no relationship between gender and transition change. The mean left-right, anteroposterior, and craniocaudal total movements were 3.19 ± 1.29 , 5.44 ± 2.07 , and 12.54 ± 4.70 mm, respectively. Changes were the largest with CC directions and as patients advanced in age, movements were larger. Therefore, as changes occur in treatment areas because of movements caused from breathing, respiratory gating system is put into operation to revise movement and can increase the radiotherapeutics effects in treating liver cancer.

Keywords : Respiratory guided radiotherapy, 4D-CT, RPM respiratory gating system, Liver cancer