

호흡으로 인한 움직임이 큰 종양의 방사선치료 시 Abdomen and Chest Motion Control Device (ABCHEs)의 유용성 평가

강남세브란스병원 방사선종양학과

조윤진 · 전미진 · 신동봉 · 김종대 · 김세준 · 하진숙 · 임정호 · 이익재

목적: 호흡에 의한 장기의 움직임이 큰 흉부와 상복부에 위치한 종양의 토모테라피 치료 시 움직임을 최소화하기 위해 노력으로 호흡 조절 시스템을 적용하지만 여러 제약이 따라 이용이 제한적이었다. 이에 본 연구에서는 토모테라피 치료 시 효율적인 호흡 조절을 위한 ABCHEs system의 적용 가능성 및 유용성을 평가해 보고자 하였다.

대상 및 방법: 본원에서 흉부와 상복부에 위치한 폐와 간, 쓸개, 췌장에 토모테라피 치료를 받은 5명의 환자를 대상으로 하였다. 모든 환자에게 ABCHEs를 사용하여 자유 호흡법과 얇은 호흡법을 각각 교육한 후 치료 계획용 4D-CT를 실시하여 총 10개의 4차원 단층촬영영상을 획득 하였다. 한명의 전공의는 각 영상의 최대 흡기, 최대 호기, 호흡의 중간 위상, Average CT 이미지에서 육안적으로 보이는 종양과 주변 정상장기를 그렸으며 MIM에서 선량체적 히스토그램과 종양의 움직임에 대한 정량적 분석을 실시하였다. 자유 호흡과 얇은 호흡 상태에서 장기의 움직임은 총 여섯 방향에서 평가하였고 주변 장기에 조사된 방사선량을 비교하였다.

결과: 5명의 환자 중 호흡 조절 장치인 ABCHEs를 이용하여 자유 호흡과 얇은 호흡 상태에서 장기의 움직임이 5 mm 이상 움직인 호흡은 자유 호흡이 12번인 반면 얇은 호흡에서는 2번으로 감소되었다. 선량 체적 히스토그램을 통한 비교 분석 결과 두 호흡간 치료 체적과 종양조직 주변 정상 장기 2개의 평균 선량 값과 정상조직에 방사선이 조사되는 용적에서 ABCHEs를 이용한 얇은 호흡이 자유 호흡에 비해 모두 낮은 치료 결과 값을 확인 할 수 있었다.

결론: ABCHEs를 사용하여 규칙적이고 정확한 얇은 호흡을 함으로써 토모테라피 치료 시 유용성과 호흡에 따른 종양의 움직임을 최소화 할 수 있음을 확인 하였고, 주변 정상조직에 불필요하게 조사되는 방사선을 감소시킬 수 있었다.

핵심용어: 토모테라피, ABCHEs (abdomen and chest motion control device), 4D-CT

서론

효과적인 방사선 치료는 종양에 높은 선량을 조사하면서 정상 장기에는 최소한의 방사선을 조사하는 것이다. 방사선 치료에서 방사선 조사면의 여유분은 치료 시 발생하는 다양한 변화를 고려하기 위해 필요한 것이다. 국제 방사선 단위 위원회의 보고서(ICRU Report 62)에 의하면 계획 표적체적(Planning Target Volume, PTV)은 내부 여유(Internal Margin, IM)와 준비 여유(Setup Margin, SM)를 고려하여 환자 자세 및 재현성과 호흡으로 인한 움직임 영역을 충분히 포함하여 치료 부위가 방사선 조사 영역을 벗어나지 않도록 권고하고 있다.^{1,2)}

그러나 움직임이 심한 장기에 대한 방사선 치료 시 치료

표적을 결정하거나 정확한 종양의 위치를 예측하는 데는 많은 어려움이 따른다. 과거 2차원적 방사선 치료에서는 종양의 움직임이 예측되는 범위 내의 정상장기를 모두 포함하여 넓게 치료할 수밖에 없어서 주변 정상 장기 합병증 발생률이 높았으며 또한 합병증이 우려되어 처방선량을 낮추거나 치료 범위를 좁힐 경우 의료진이 원하는 치료 효과를 기대하기 어려웠다. 흉부와 상복부에 위치한 종양의 경우 호흡에 따른 종양과 장기의 움직임은 상당히 다양하게 변화하므로 최근 방사선 치료를 시행함에 있어서 중요한 문제로 인식되고 있다. AAPM 76 report에 따르면 폐는 자유 호흡 상태에서 3~22 mm, 상복부에 위치한 간, 췌장, 신장에 대해서는 19~55 mm 움직임이 있다고 보고되고 있다.³⁾ 정상조직에 가해지는 선량을 최소화하기 위해 최근 3차원 입체조형 방사선치료(3-Dimensional Conformal Radiation Therapy, 3DCRT)나 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 영상유도방사선치료(Image Guide Radiation Therapy,

이 논문은 2012년 6월 22일 접수하여 2012년 8월 10일 채택되었음.
책임저자 : 이익재, 강남세브란스병원 방사선종양학과
Tel: 02)2019-3147, Fax: 02)2019-1268
E-mail: rpyj56223@yuhs.ac

IGRT)를 사용하기도 하고 환자의 호흡을 인위적으로 조절해 줌으로써 내부 장기의 움직임을 최소화하는 호흡조절 방사선치료(Respiration Gated Radiation Therapy, RGRT)법 등이 제시되고 있다.⁴⁾ 또한 최근에는 호흡연동감시시스템(Real-time Position Management, RPM), ABC (Active Breathing Coordination), 복부 압박 장치(Body-fix, Abdominal Compression), 4D-CT (4-Dimensional Computed Tomography) system을 이용하여 환자 고정효과와 함께 호흡에 의한 종양의 움직임을 줄여 그 변화가 전부 고려된 내부 표적체적(Internal Target Volume, ITV)을 설정하게 되었고 그만큼 정상조직에 가해지는 선량을 최소화하면서 동시에 종양에는 처방된 선량을 조사할 수 있게 되었다.⁵⁻¹¹⁾ 방사선치료의 최근 기술인 세기조절 방사선 치료의 또 다른 형태로 발전된 토모테라피는 진단용 CT 기계와 같은 gantry 안에 선형가속기를 탑재한 형태로 기존 세기조절 방사선 치료가 3~7방향의 고정된 빔을 사용하는 것과 달리 토모테라피는 360° 한번 회전 시 51개 방향에서 방사선을 조사하는 것이 가능하므로 종양 표적 내 선량 균일성을 향상시키고 종양과 인접한 정상 조직에 선량을 최소화시킴으로써 안전하고 우수한 치료 효과를 기대할 수 있다. 또한 초고압 전산화단층촬영(Mega-Voltage Computed Tomography, MVCT)을 통해 방사선치료 전 종양의 위치 및 주위 정상 장기를 확인 후 방사선치료를 시행하는 영상유도 방사선치료가 가능하다.^{12,13)}

그러나 토모테라피는 CT 장비와 같은 형태로 bore의 지름이 X축: 850 mm, Y축: 1,350 mm의 원통형 gantry 안을 환자가 누운 테이블이 일정한 속도로 들어가면서 나선형으로 방사선이 조사되는 방식으로 상대적으로 치료 시간이 길고 치료 중에 빔을 ON/OFF 할 수 있는 system을 갖추고 있지 않다. 게다가 원통형의 gantry 구조 때문에 호흡동조(respiratory gating) 방사선치료 system을 적용하는데 제약이 있어 치료 중 발생하는 장기의 움직임으로 생기는 오차는 아직 해결하지 못하였다.

최근 움직임이 많은 장기의 방사선치료 시 호흡 정지 상태에서 방사선 치료를 시행할 목적으로 개발한 ABCHEs (abdomen and chest motion control device)를 본 기관에서 토모테라피 치료 시 호흡조절 방사선치료를 목적으로 흉부와 상 복부 환자에게 적용하게 되었다.¹⁴⁾

따라서 본 연구에서는 종양이 흉부와 상복부에 위치한 환자의 토모테라피 치료 시 호흡 조절 장치인 ABCHEs를 이용한 방사선 치료의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상 및 장비

본 연구의 대상자는 2012년 1월부터 2012년 5월까지 본원에서 흉부와 상복부에 위치한 간, 쓸개, 췌장에 토모테라피 치료를 받은 환자 5명을 대상으로 하였다. 모의 치료계획 전 선정기준에 해당하는 환자를 대상으로 투시 장비(HITACHI ERGO prius-C DIGITAL C-arm)를 통해 횡격막의 움직임이 최소 10 mm 이상 움직이는 환자를 대상으로 시행하였다(Table 1).

호흡 조절을 위해 ABCHEs (APEX Medical, Japan)(Fig. 1)를 사용한 후 상반신 진공쿠션(wing board vac-lock)으로 자세를 고정하였다. 4차원 영상 획득을 위해 Anzai gating system (AZ-733V; Anzai Medical, Japan)을 이용하여 4D-CT (Siemens Somatom Definition AS, Germany)을 하였고, LEONARDO에서 장기의 움직임을 확인하였다. 촬영한 영상은 치료계획 장비(Pinnacle 9.0 philips)를 이용하여 윤곽그리기를 하였고 토모 치료계획용장비(TomoTherapy® planning station TOMO HD™ Version 1.0.1 Incorporated, Madison, WI, USA) 및 MIM (Mimsoftware, Version.5.2 USA)를 통해 전산화 치료 계획을 수립하여 종양의 움직임을 정량적으로 측정하였다. 치료장비는 TOMO HD (TomoTherapy Incorporated, Madison, WI, USA)을 이용하였다.

Table 1. Patient characteristics

No.	Age	Sex	Diagnosis	Distance of diaphragm movement (Cm)		Stage	Dose per fraction (Gy)	Total dose (Gy)
				FB*	Shallow [†]			
1	69	F	Lung cancer	1.7	0.7	Limited stage	2	54
2	88	M	Pancreatic cancer	2	1	cT4N0M0	2.4	48
3	53	M	Gall bladder cancer	2.5	1	cT2/3N2M0	2	50
4	59	M	Hepatocellular carcinoma	2	0.6	cT3/4N0M0	2	50
5	67	M	Cholangiocellular carcinoma	1	0.5	pT3N0M0	1.8	54

*Free breathing, [†]Shallow breathing.

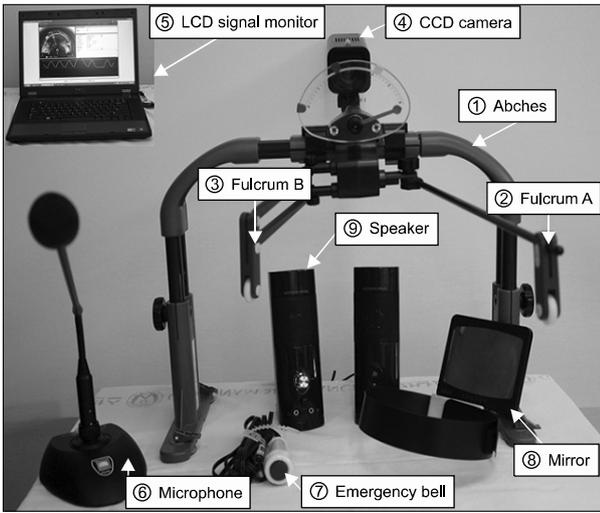


Fig. 1. Description ABCHES system.

2. 실험 방법

본 연구에 해당하는 환자에게 ABCHES를 사용하여 자유 호흡(free breathing)과 얇은 호흡(shallow breathing)을 교육 하였다. ABCHES 사용 시 폐 호흡 확인을 위해 흉부 지지대를 유두(nipple)와 평행한 곳에 위치하고 복부 호흡 확인을 위한 복부 지지대를 검상돌기(xiphoid process)와 배꼽(umbilicus) 사이 움직임이 가장 큰 곳에 위치시켰으며 치료 시 재현성 유지를 위해 피부에 지지대의 위치를 문신으로 표시 하였다. 환자에게 약 3분간 자유 호흡을 하게한 후 바늘이 규칙적으로 움직인 구간을 빨간 표시(A)와 노란 표시(B)로 표시한 후 다시 5분간 (A)와 (B) 구간에서 규칙적인 자유 호흡이 이루어 지는지 확인하였다. 얇은 호흡을 하기 위하여 자유 호흡 구간에서 얻은 (A)와 (B)의 간격을 환자에게 부담이 가지 않는 범위 내에서 줄이고 같은 방법으로 5분간 얇은 호흡훈련을 실시하며 조종실에서 환자의 respiration signal을 확인하였다. 치료 시 호흡의 재현성 확인은 치료 전 ABCHES를 모의 치료시와 동일한 조건하에 호흡훈련을 3분간 실시하였으며 치료 조종실에서는 CCD카메라와 LCD 모니터로 환자 확인과 respiration signal를 check하며 호흡에 미세한 오차가 발생하면 audio coaching을 통해 불안해하지 않는 상황에서 다시 호흡할 수 있도록 하였다(Fig. 2).^{15,16)}

4D-CT 검사는 환자 1명당 각각 ABCHES를 이용하여 자유 호흡과 얇은 호흡에서 촬영하였으며, 획득한 4차원 단층촬영 영상을 LEONARDO로 전송하여 Inspace 4D software에서 장기의 움직임을 일차적으로 확인 한 후 MIM 프로그램에서 종양의 움직임을 정량적으로 분석 하였다. 또한 치료계획을 위하여 그중 최대 흡기(100% inhalation phase), 최대 호기

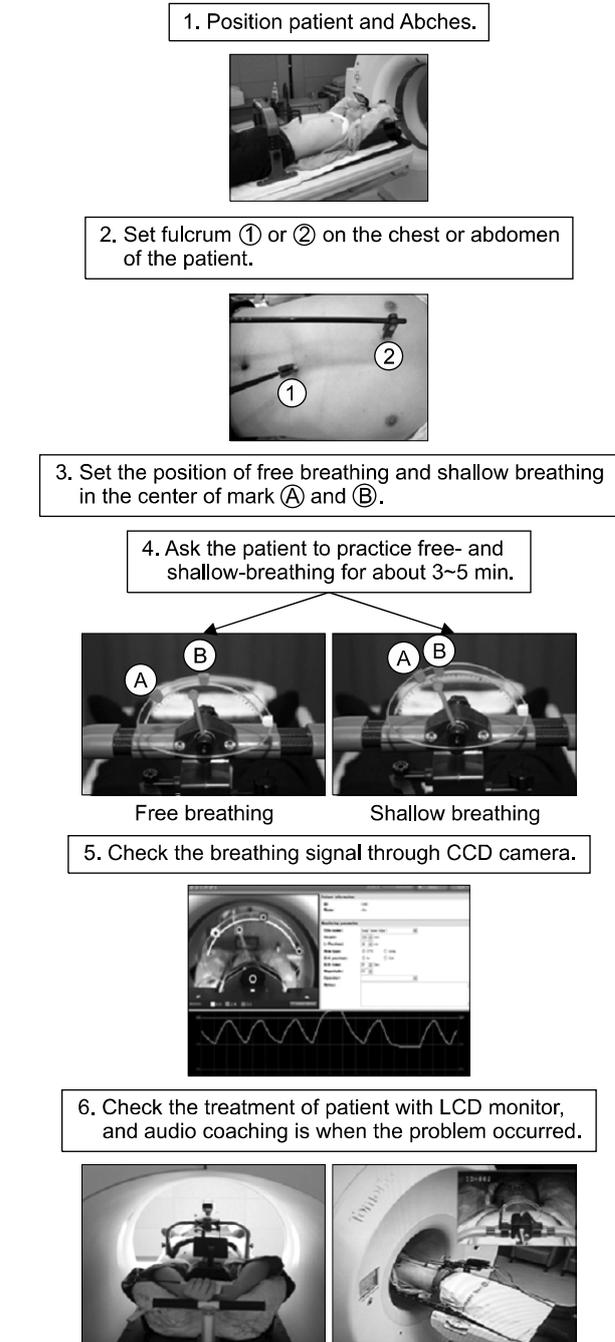


Fig. 2. Procedure for respiratory control with ABCHES.

(100% exhalation phase), 호흡의 중간 위상(40% inhalation phase), Average CT 이미지를 치료계획실의 치료계획장비로 전송하였다.

한명의 전공의가 Pinnacle에서 최대 흡기, 최대 호기, 호흡의 중간 위상, Average CT 이미지에서 육안적으로 보이는 종양과 그 주변 정상 장기를 그렸다. 육안적으로 보이는 종양

을 고 위험 표적(High-risk Planning Target Volume, HPTV)으로 정의 하였고, HPTV 주변으로 각 환자별로 종양적 특이성을 고려한 방사선 조사면 여유분을 주어 setup error와 움직임에 대한 불확실성을 포함한 저 위험 표적(Low-risk Planning Target Volume, LPTV)으로 정의 하였다.

모든 환자의 HPTV는 4차원 단층촬영영상 각 위상에서 보이는 종양을 윤곽그리기 하여 이를 모두 합산하여 정의 하였으며 LPTV는 환자 case 별로 폐암 환자는 HPTV에 6 mm경계로 정의하였고, 췌장암 환자는 환자의 연령 및 전신 상태를 고려하여 HPTV에 3 mm확대하여 정의하였다. 쓸개암 환자의 LPTV는 HPTV에 침범된 림프절을 포함하여 정의하였으며, 간세포암종 환자는 HPTV에 5 mm 확대하여 정의하였다. 마지막으로 간내담관암 환자의 HPTV는 CT에서 보이는 종양으로 정의하였고, LPTV는 4D-CT 각 위상에서 보이는

종양을 윤곽그리기 하여 이를 모두 합산하여 정의하였다.

이것을 토모 치료계획용장비로 전송하여 치료 계획을 수립하였으며 MIM에서 선량 체적 히스토그램을 통해 두 호흡간 치료 체적을 비교하였다. 선량통계량은 종양조직 주변으로 가장 중요하게 평가되는 정상장기 2개를 선택하여 평균 선량(Mean dose)값과 정상조직에 방사선이 조사되는 용적을 환자별로 각각 비교평가 하였다.

결 과

1. 4D-CT를 이용한 장기의 움직임 측정

환자 case별로 MIM에서 내부 장기의 움직임을 위·아래(Superior-Inferior, SI), 전·후(Anterior-Posterior, AP), 좌·우(Left-Right, LR)에서 거리와 방향으로 분석하였다. 앞은

Table 2. Respiratory movement of center of gross tumor volume

No	SI* (mm)				AP [†] (mm)				LR [‡] (mm)			
	Superior		Inferior		Anterior		Posterior		Left		Right	
	F.B [§]	S.B	F.B	S.B	F.B	S.B	F.B	S.B	F.B	S.B	F.B	S.B
1	8.5	3.5	8.0	3.7	5.3	0.8	5.5	2.0	2.6	0.6	0.8	0.0
2	4.0	0.8	3.6	1.3	2.3	0.6	2.6	2.1	0.6	0.0	1.4	0.2
3	9.6	5.0	1.4	7.0	8.0	2.0	5.7	1.5	3.0	0.0	6.0	1.2
4	8.0	2.1	11.2	2.9	2.1	4.9	7.7	1.5	2.3	0.5	4.5	1.6
5	4.5	3.4	5.5	2.7	2.4	2.1	3.2	2.8	2.6	1.0	1.1	0.5

*Superior-inferior, [†]Anterior-posterior, [‡]Left-right, [§]Free breathing, ^{||}Shallow breathing.

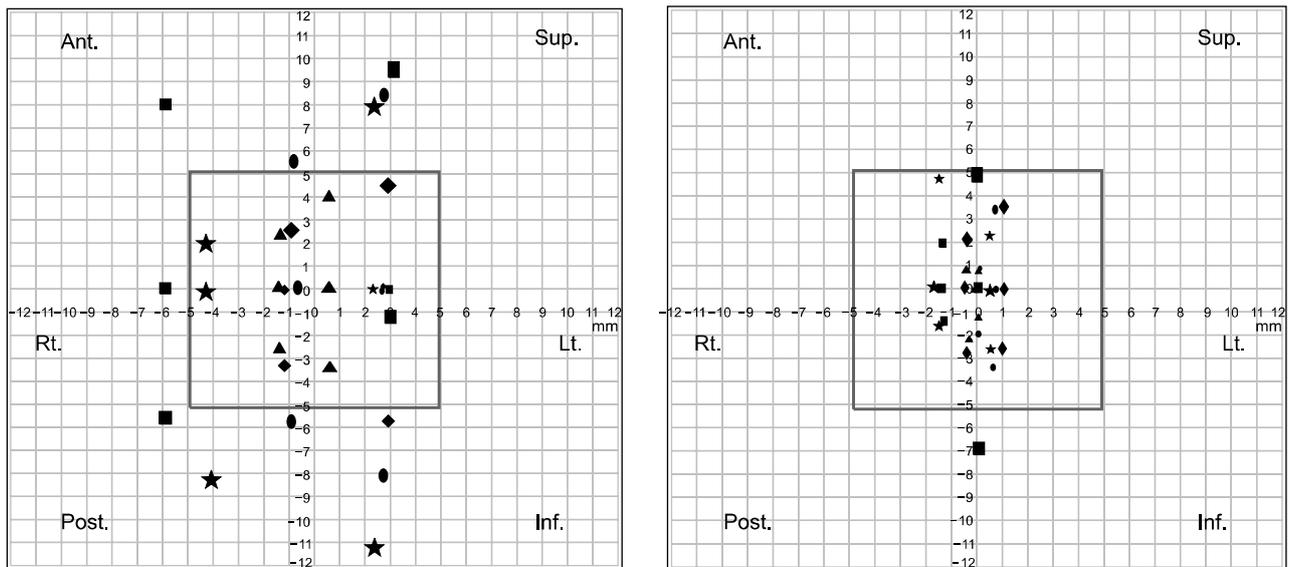


Fig. 3. Organ motion is in the six directions with more than a 5 mm displacement. A total of 11 organ motions occurred during free breathing while organ motions decreased to 3 times during shallow breathing under the use of ABCHEs.

호흡 상태에서 대부분 움직임이 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 평균 감소율을 SI방향에서 50.3% (3.2 mm), AP방향에서 45.3% (2.5 mm), LR방향에서 22.5% (1.9 mm) 감소하였다. 또한 두 호흡간의 통계프로그램(spss v.12.0)을 통한 t-검정 결과 SI (P=0.045), AP (P=0.026), LR (P=0.037)로 유의한 차이를 보였다(신뢰구간 95%). 5명의 환자 중 호흡 조절 장치인 ABCHEs를 이용하여 자유 호흡과 얇은 호흡 상태에서 장기의 움직임이 5 mm 이상 움직인 호흡은 자유 호흡이 12번인 반면 얇은 호흡에서는 2번으로 얇은 호흡을 할 경우 자유 호흡과 비교해 모든 치료 부위에서 종양의 움직임이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다(Table 2, Fig. 3).

2. 치료 계획 결과 비교

1) Case 1

폐암 환자의 선량 체적 히스토그램 비교 결과 치료 체적 HPTV는 자유 호흡 41.4 ml, 얇은 호흡 32.0 ml, LPTV는 130.4 ml, 106.2 ml로 얇은 호흡이 각각 22.0%, 18.5%의 감소율을 보였다. 전체 폐와 좌측 폐에 대한 얇은 호흡의 평균선량은 각각 12.8 Gy, 21.1 Gy로 얇은 호흡이 정상조직에 낮은 선량이 조사됨을 확인할 수 있었다. 방사선폐렴의 중요 예측인자인 20 Gy 이상 조사된 정상 폐 용적(V₂₀) 또한 자유 호흡이 23.9%인 반면 얇은 호흡에서는 21.2%로 감소하였다 (Table 3, 4, Fig. 4, 5A).

Table 3. Comparison of tumor volume in each patient with HPTV, LPTV

Pt.	HPTV*			LPTV [†]		
	F.B [‡]	S.B [§]	Depletion factor	F.B	S.B	Depletion factor
Case 1	41.4 ml	32.0 ml	22.0%	130.4 ml	106.2 ml	18.5%
Case 2	67.2 ml	64.3 ml	4.3%	107.1 ml	102.8 ml	4.0%
Case 3	303.6 ml	273.2 ml	10.0%	772.8 ml	749.8 ml	2.0%
Case 4	444.1 ml	363.1 ml	18.0%	677.0 ml	577.5 ml	14.0%
Case 5	12.1 ml	11.9 ml	1.6%	280.2 ml	268.8 ml	4.0%

*High-risk planning target volume, [†]Low-risk planning target volume, [‡]Free breathing, [§]Shallow breathing.

Table 4. Comparison of irradiated two important normal organ mean dose in five patient (unit: Gy)

Normal	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4		Case 5	
	Whole lung	Ipsil. lung	Duo. [†]	Stomach	Duo.	Liver	Liver	Eso. [§]	Liver	Rt. kidney
F.B*	14.1	23.6	5.7	2.6	29.8	24.6	34.6	41.9	26.3	9.1
S.B [†]	12.8	21.1	5.3	2.2	29.2	24.3	33.1	39.8	24.9	6.3

*Free breathing, [†]Shallow breathing, [‡]Duodenum, [§]Esophagus.

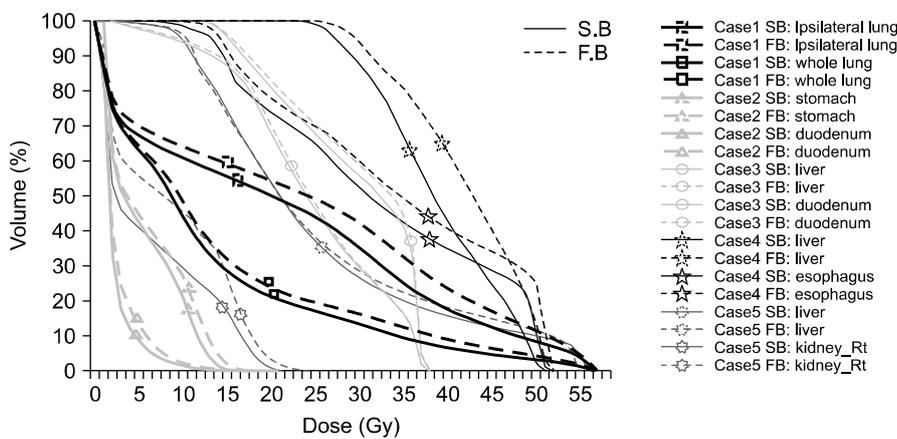


Fig. 4. Comparison of dose-volume histogram in all patients according to two different breathing method.

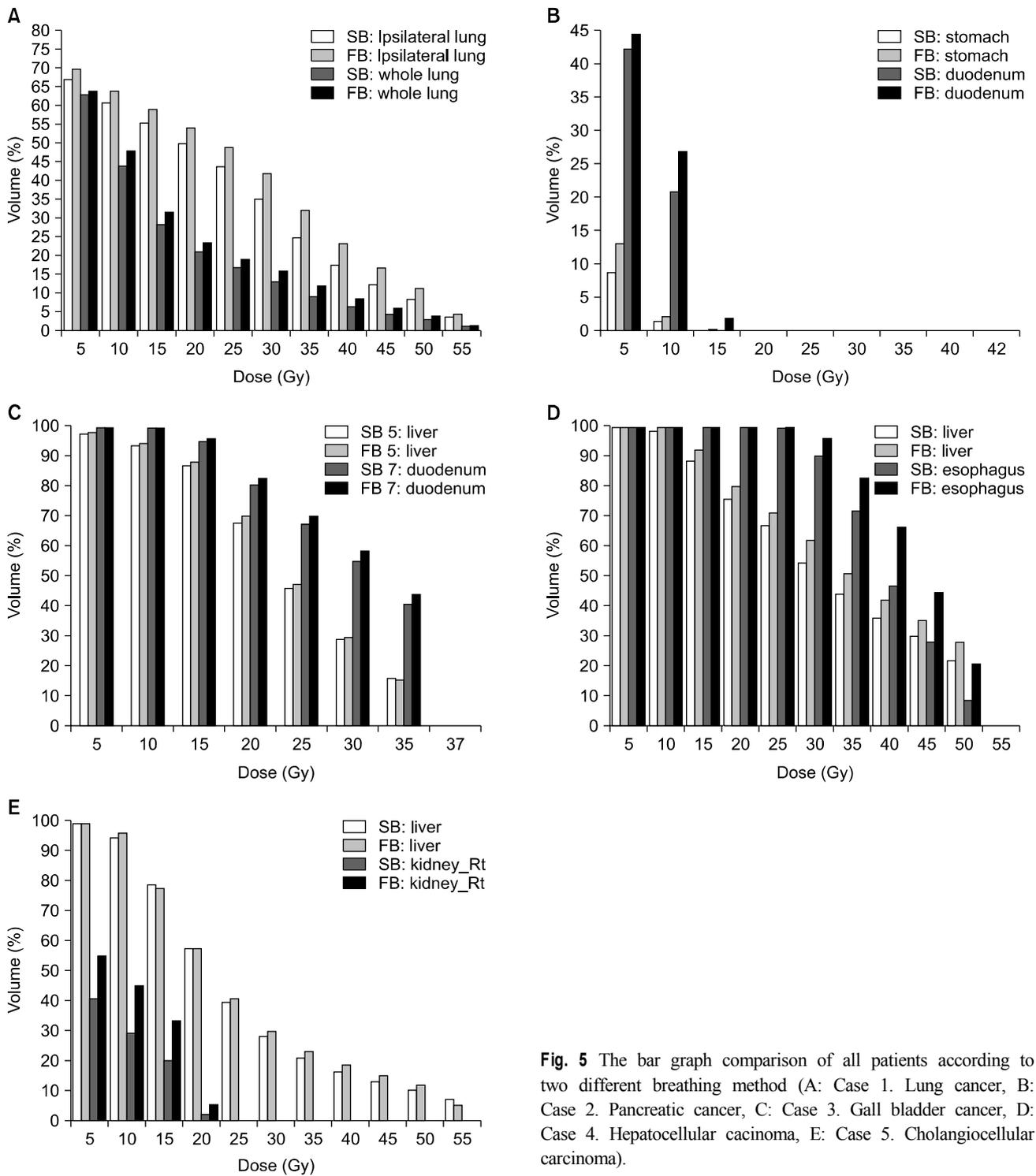


Fig. 5 The bar graph comparison of all patients according to two different breathing method (A: Case 1. Lung cancer, B: Case 2. Pancreatic cancer, C: Case 3. Gall bladder cancer, D: Case 4. Hepatocellular carcinoma, E: Case 5. Cholangiocellular carcinoma).

2) Case 2

췌장암 환자의 선량 체적 히스토그램 비교 결과 치료 체적 HPTV는 자유 호흡 67.2 ml, 얇은 호흡 64.3 ml, LPTV는 107.1 ml, 102.8 ml로 얇은 호흡이 각각 4.3%, 4.0% 감소하였고, 주변 정상장기 평가에서는 얇은 호흡이 위장 8.8% (V₅), 십이지장 21.1% (V₁₀)로 감소하였다(Table 3, 4, Fig. 4, 5B).

3) Case 3

췌개암 환자의 치료체적은 얇은 호흡이 각각 10%, 2.0%의 감소율을 보였으며 주변 정상장기의 조사선량은 얇은 호흡이 간 68.1% (V₂₀), 십이지장 80.9% (V₂₀)로 감소하였다 (Table 3, 4, Fig. 4, 5C).

4) Case 4

간세포암종 환자의 선량 체적 히스토그램 비교 결과 치료 체적 HPTV는 자유 호흡 444.1 ml, 얇은 호흡 363.1 ml, LPTV는 677.0 ml, 577.5 ml로 얇은 호흡이 각각 18.0%, 14.0%의 감소율을 보였다. 정상 간 평가의 중요한 예측 인자인 V₅₀은 자유 호흡이 28.1%인 반면 얇은 호흡이 21.9%로 감소하였다(Table 3, 4, Fig. 4, 5D).

5) Case 5

간내담관암 환자의 치료체적 HPTV는 얇은 호흡이 자유 호흡에 비해 각각 1.6%, 4.0%의 감소율을 보였으며 주변 정상조직 선량 통계량은 간의 평균선량은 자유 호흡이 26.3 Gy, 얇은 호흡이 24.9 Gy로 낮게 조사되었으며, 우 신장의 선량 평가는 두 호흡 간 가장 큰 선량 차이를 보인 V₁₀에서 자유 호흡 45.5%인 반면 얇은 호흡이 29.5%로 감소하였다 (Table 3, 4, Fig. 4, 5E).

고안 및 결론

흉부와 상복부에 위치한 장기는 호흡에 의한 움직임이 크며 그 움직임 또한 예측하기 힘든 특이적인 양상을 보인다.¹⁷⁾ 그렇기 때문에 방사선 치료 계획 시 호흡으로 인한 종양의 움직임이 크면 조사체적이 증가하게 되어 정상조직에 조사되는 방사선량 또한 증가하게 된다. AAPM Task Group 76의 보고서에서는 자유 호흡 시 종양의 움직임이 어떤 방향으로든지 5 mm 이상 움직임이 있거나 호흡 조절 방사선치료로 정상조직의 보호가 가능할 경우 호흡조절 치료법을 권고하고 있다. 그러나 이러한 호흡조절 방사선 치료를 환자에게 적용하기 위해서는 호흡추적 장치가 종양과 정상장기의 움직임을 정확하게 예측하는 것과 모의 치료 시 복잡한 시스템에 대한 환자의 이해도와 호흡의 재현성 여부가 중요하다 할 수 있겠다. 2009년 발표된 한국중양 암 등록본부자료에 의하면 남녀를 합하여 폐암이 4위 간암이 5위를 차지하며

그중 연령별로는 65세 이상 남녀 모두에서 폐암이 2위 간암이 4위로 보고 되고 있다.¹⁸⁾ 폐암과 간암 방사선 치료 시 호흡 조절방사선 치료는 치료 효과를 극대화시키기 위해 필요한 기술이지만 현재 많은 병원에서 사용 중인 system은 본원에서도 사용함에 있어 치료의 정확성면에서는 좋은 성과를 보였지만 고가의 장비 가격과 환자 한명 당 치료 시간이 오래 걸리는 문제점 그리고 무엇보다도 고령의 환자에게 호흡조절 장치를 적용하는데 있어 많은 애로사항이 발생해 본원과 같이 다수의 환자를 치료하는 기관에서는 환자 대기 시간 증가 등의 문제로 제한적인 사용을 하였다.

이를 보완하기 위해 도입한 ABCHES는 기존 호흡조절 장치의 단점을 보완하면서 효과적인 호흡 조절을 할 수 있어 환자는 자유 호흡에 비해 종양과 정상장기의 움직임을 최소화 시킬 수 있는 얇은 호흡을 정확하게 유지한 상태에서 호흡조절 토모테라피를 시행할 수 있었다. 본원에서 ABCHES를 호흡으로 인한 장기의 움직임이 큰 종양에 방사선 치료를 받는 환자에게 적용 시 움직임을 감소시킬 수 있었고 방사선 조사 여유분을 줄임으로써 정상장기에 불필요한 방사선 조사를 최소화 할 수 있었다. 또한 모의치료와 방사선치료 시간편하면서도 정확한 재현성을 유지 할 수 있었으며 특히 고령의 환자들은 ABCHES 에 대한 이해도가 기존 호흡조절 장비보다 높음을 확인할 수 있었다.

폐와 간은 종양의 위치와 호흡법에 따라 장기의 움직임 변화가 뚜렷하게 나타났다. 하지만 췌장과 췌개의 경우 횡격막이 자유 호흡에서 최대 2~2.5 cm 움직이는 것에 비해 실제 종양이 위치한 장기의 움직임은 큰 차이가 없었다. 치료 효과 역시 자유 호흡과 얇은 호흡간의 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

본 연구의 대상 환자가 총 5명을 대상으로 분석 하였으므로 모집단의 수가 상대적으로 적었으며 현재까지 ABCHES에 대한 유용성이 보고된 논문 또한 많지 않다.

앞으로 호흡의 객관적 지표가 되는 횡격막과 실제 장기 움직임의 연관성에 관한 연구와 함께 현재 ABCHES를 적용한 환자에 대한 추적관찰 또한 필요하리라 생각되며 토모테라피와 LINAC 치료 시 ABCHES를 이용한 호흡조절 방사선 치료를 통해 치료성적을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. ICRU Report 62, International Commission on Radiation Photon beam therapy. Supplement to ICRU Report 50;1999
2. ICRU Report 50, International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy ;1993

3. AAPM REPORT No.91 -The Management of Respiratory Motion in Radiation Oncology Report of AAPM Task Group 76
4. Lee S, Seong JS, Kim YB, et al.: Use of motion reduction (RDD) in treatment of hepatoma. J Korea Soc Radiol Technol 2001;19:319-326
5. Wouter W, Alejandar M, Willy K, et al.: Reduction of respiratory liver tumor motion by abdominal compression in stereotactic body frame, analyzed by tracking fiducial marker implanted in liver. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008; 71:907-915
6. Stevens CW, Munden RF, Forster KM, et al.: Respiratory driven lung tumor motion is independent of tumor size, tumor location, and pulmonary function. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001;51:62-68
7. Marks L: Dosimetric predictors of radiation-induced lung injury. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2002;54:313-316
8. Langen KM, Jones DTL: Organ motion and its management. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001;50:265-278
9. Dawson LA, Brock KK, Kazanjian S, et al.: The reproducibility of organ position using active breathing control (ABC) during liver radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001;51:1410-1421
10. Wong JW, Sharpe MB, Jaffray DA, et al.: The use of active breathing control (ABC) to reduce margin for breathing motion. Int J Radiat Oncol Biol Physics 1999;44:911-919
11. Wong VY, Tung SY, Ng AW, Li FA, Leung JO: Real-time-monitoring and control on deep inspiration breath-hold for lungcancer radiotherapy combination of ABC and external marker tracking. Med Phys 2010;37:4673-4683
12. Kim JH, Cho JH, Lee SK, et al.: A study on prospective plan comparison using DVH-index in tomotherapy planning. Radio Oncol 2007;19:113-122
13. Keum KC: Helical tomotherapy: Image-guided intensity modulation therapy. J Korean Med Assoc 2008;51:619-629
14. Tarohda T, Ishiguro M, Hasegawa K, et al.: The management of tumor motion in the stereotatic irradiation to lung cancer under the use of abches to control active breathing. Med Phys 2011;38:41-46
15. Rohini G, Theodore D, Sastry S, et al.: Audio-visual biofeedback for respiratory gated radiotherapy: impact of audio instruction and audio-visual biofeedback on respiratory-gated radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2006;65:924-934
16. Toni N, Ross B, John W, et al.: Synchronized moving aperture radiation therapy (SMART): improvement of breathing pattern reproducibility using respiratory coaching. Phys Med Biol 2006;51:617-636
17. Onimaru R, Shirato H, Fujino M, et al.: The effect of tumor location and respiratory fuction on tumor movement estimated by real-time tracking radiotherapy (RTRT) system. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2005;63:164-169
18. 한국중양암등록본부: 『국가암등록사업 연례보고서(2009년 암발생 현황)』. 보건복지부, 2009;1-114)

Abstract

Evaluation on Usefulness of Abdomen and Chest Motion Control Device (ABCHES) for the Tumor with a Large Respiratory Motion in Radiotherapy

Yoon Jin Cho, Mijin Jeon, Dong Bong Shin, Jong Dae Kim,
Sei Joon Kim, Jin Sook Ha, Jung Ho Im, Ik Jae Lee

Department of Radiation Oncology, Gangnam Severance Hospital, Seoul, Korea

Purpose: It is essential to minimize the respiratory-induced motion of involved organs in the Tomotherapy for tumor located in the chest and abdominal region. However, the application of breathing control system to Tomotherapy is limited. This study was aimed to investigate the possible application of the ABCHES system and its efficacy as a means of breathing control in the tomotherapy treatment.

Materials and Methods: Five subjects who were treated with a Hi-Art Tomotherapy system for lung, liver, gallbladder and pancreatic tumors. All patients undertook trained on two breathing methodes using an ABCHES, free breathing method and shallow breathing method. When the patients could carry out the breathing control, 4D-CT scan was a total of 10 4D tomographic images were acquired. A radiologist resident manually drew the tumor region, including surrounding normal organs, on each of CT images at the inhalation phase, the exhalation phase and the 40% phase (mid-inhalation) and average CT image. Those CT images were then exported to the Tomotherapy planning station. Data exported from the Tomotherapy planning station was analyzed to quantify characteristics of dose-volume histograms and motion of tumors. Organ motions under free breathing and shallow breathing were examined six directions, respectively. Radiation exposure to the surrounding organs were also measured and compared.

Results: Organ motion is in the six directions with more than a 5 mm displacement. A total of 12 Organ motions occurred during free breathing while organ motions decreased to 2 times during shallow breathing under the use of Abches. Based on the quantitative analysis of the dose-volume histograms shallow breathing showed lower resulting values, compared to free breathing, in every measure. That is, treatment volume, the dose of radiation to the tumor and two surrounding normal organs (mean doses), the volume of healthy tissue exposed to radiation were lower at the shallow breathing state.

Conclusion: This study proposes that the use of ABCHES is effective for the Tomotherapy treatment as it makes shortness of breathing easy for patients. Respiratory-induced tumor motion is minimized, and radiation exposure to surrounding normal tissues is also reduced as a result.

Key words: tomotherapy, ABCHES (abdomen and chest motion control device), 4D-CT