

간암의 방사선치료 시 호흡운동 감소장치(respiratory motion reduction device, RRD)의 유용성에 관한 연구

연세대학교 의과대학 방사선종양학교실, Brain Korea 21 의과학사업단*,
경기대학교 대학원 의학물리학과†

이 석*† · 성진실* · 김용배* · 조광환* · 김주호* · 장세경* · 권수일† · 추성실* · 서창욱*

목적: 폐, 간 등의 상 복부에 위치한 종양의 방사선 조사 체적은 호흡에 의한 종양의 이동을 포함하는 영역으로 조사 체적이 증가된다. 이로 인하여 방사선 독성 및 정상조직 선량이 증가되며, 호흡으로 인한 환자자세의 변화로 인해 종양의 정확한 위치파악이 어렵게 된다. 본 연구에서는 호흡에 따른 장기 움직임 유형을 분석하여 호흡에 의한 장기의 움직임을 최소화 할 수 있는 호흡운동 감소장치를 고안하고 방사선치료 시 호흡운동 감소장치의 유용성을 평가해 보고자 하였다.

대상 및 방법: 간암환자 10명을 대상으로 하여 MeV-Green과 벨트, 스티로폼판 등을 사용하여 호흡운동감소장치(respiratory motion reduction device, RRD)를 제작하였다. 내부장기의 이동정도는 모의치료 시에 관찰된 횡경막의 이동 정도로 평가하였으며 양와위와 복와위 및 RRD의 사용 시 이동정도를 알아보고, 각각의 경우에서 이동정도를 고려하여 방사선치료계획을 수립하였다. 선량체적 히스토그램(dose-volume histogram, DVH)을 통해서 전체 간 용적 중 처방선량의 50%가 조사되는 정상간 용적을 구하였다.

결과: 호흡에 따른 횡경막의 평균이동거리는 양와위 자세에서 16 ± 1.9 mm 이었고, 복와위 자세에서는 12 ± 1.9 mm임을 알 수 있었다. 복와위 자세에서 본원에서 자체 제작한 RRD를 사용한 경우에는 5 ± 1.4 mm으로 감소되었고, 벨트 고정장치의 추가 사용 시에는 3 ± 0.9 mm으로 감소하여 총 9 mm 감소함을 알 수 있었다. 방사선치료계획에 따른 DVH에서 처방선량의 50%가 조사되는 정상간의 용적은 호흡운동감소장치를 사용하지 않은 경우에 양와위 자세에서 43.7%, 복와위 자세에서 40% 이었고, 호흡운동 감소장치를 사용한 경우에 복와위 자세에서 30.7%, 여기에 벨트 고정장치를 추가 사용하였을 경우에는 21%로서 전체 간 용적 중 방사선에 조사되는 정상 간 용적은 최대 22.7% 감소됨을 알 수 있었다.

결론: 호흡에 따른 내부장기의 움직임을 최소화 할 수 있는 RRD를 사용하여 정상조직에 불필요하게 조사되는 방사선을 감소시킬 수 있었다.

핵심용어: 호흡운동 감소장치, 선량체적 히스토그램, 장기 움직임, 간암

서 론

방사선 독성의 증가 없이 종양부위에만 많은 선량을 조사하여 국소 조절 효과를 향상시키는 것이 방사선치료의 목적이다. 이를 위해서는 병소 부위의 정확한 위치 파악과 함께 호흡에 의한 종양의 이동을 최소화하는 것이 필수적인 요소라 할 수 있다. 방사선치료 시에는 호흡에 의한 종양의 움직임을 포함하여 방사선조사 체적을 결정하므로 종양의 움직임이 클수록 방사선조사체적이 커지게 되며, 이로 인해 정상

조직에 조사되는 방사선량 및 독성이 증가된다.^{1~4)}

정상조직에 가해지는 선량을 최소화하기 위해 3차원 입체조형방사선치료(3-dimensional conformal radiotherapy, 3DCRT)나 세기변조방사선치료(intensity modulated radiotherapy, IMRT)를 사용하기도 하고, 환자 호흡을 인위적으로 조절해줌으로써 내부 장기의 움직임을 최소화하는 호흡 조절 방사선치료(respiration gated radiotherapy, RGRT) 방법 등이 제시^{5,6)}되고 있다. 최근에 호흡조절 방사선 치료에 대해 많은 연구가 진행되고 있는데 이는 3차원 입체조형방사선치료가 호흡으로 인한 종양의 움직임을 적절하게 반영하지 못하는 반면, 호흡조절 방사선치료는 환자고정효과와 함께 호흡조절이 가능하여 방사선조사면 여유분을 줄여서 정상조직에 가해지는 선량을 최소화하면서 동시에 종양에는 최대한의 선량이 조사되게 할 수 있는 방법으로 대두되고 있다.^{7~9)} 방사선치료에서 방

이 논문은 2001년 7월 31일 접수하여 2001년 10월 24일 채택되었음

책임저자: 성진실, 연세의료원 연세암센터 방사선종양학과
Tel: 02)361-7656, Fax: 02)312-9033
E-mail: jsseong@yumc.yonsei.ac.kr

사선 조사면의 여유분은 치료의 다양한 변화를 고려하기 위해 필요한 것이다. 국제 방사선 단위위원회의 보고서(ICRU Report 50)에 의하면, 계획표적체적(planning target volume, PTV)은 임상표적체적(clinical target volume, CTV)에 환자 자세 및 치료 시 재현성의 불확정성을 포함하는 크기로 정의한다.¹⁰⁾ 방사선조사면 여유분을 최소화하는 것이 방사선치료에서 중요한 인자이기는 하지만, 기하학적인 오류를 범할 수 있는 위험의 요소 또한 포함하는 것이다. 장기의 움직임을 방사선 투시 영상을 이용하여 분석 하면 호흡에 의한 횡경막의 움직임은 10 mm에서 최대 30 mm 까지 상하 방향으로 움직이며, 상 복부에서 그 움직임이 매우 크게 나타나므로 이를 보정 해주기 위해 10~30 mm 방사선 조사면 여유분이 필요하게 된다.^{11, 12)} 즉, 호흡에 따른 장기의 움직임에 의한 여유분을 감소시켜 정상조직에 가해지는 선량을 최소화하는 것이 필요하고, 또한 호흡과 관계되는 선량학적, 기하학적 불확정성 및 임상적 결과를 도출해야 할 필요성이 요구된다.

본 연구에서는 호흡에 따른 장기 움직임 유형을 분석하여 호흡에 의한 장기의 움직임을 최소화 할 수 있는 호흡운동 감소장치를 고안하고 방사선치료 시 호흡운동 감소장치의 유용성을 평가해 보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 호흡운동 감소장치(respiratory motion reduction device, RRD) 제작

호흡운동감소장치는 환자의 상 복부를 압박해줌으로써 환자의 자연스러운 호흡운동을 유도하면서 호흡을 최소화 할 수 있도록 고안된 장치이다. 이를 위해 styrofoam (200×100×100 mm³)을 이용해서 환자의 상 복부를 누르게 하고 이는 환자 체형을 고려하여 적절한 크기로 설계하였고, MeV-Green (전성물산, 한국)을 이용하여 고정하였으며, 환자자세의 재현성 및 고정성 효과를 돕기 위해 두 개의 아크릴 막대기(400×10×10 mm³)과 판(500×800×10 mm³)을 사용하여 고안하였다. 벨트 고정장치를 추가하여서 환자의 움직임을 최소화하도록 고안하였고 RRD가 항상 환자의 상 복부에 위치할 수 있도록 하여서 치료자세의 재현성을 향상시키도록 하였다(Fig. 1, 2).

2. 방사선 투시영상을 이용한 장기 움직임의 측정

연구 수행을 위해 본원에서 보유하고 있는 모의치료조준기(Simulator, Varian, USA), 전산화단층 모의치료조준기(CT-Simulator, Marconi, USA), 방사선치료계획장치(AcQ-Plan, Mar-

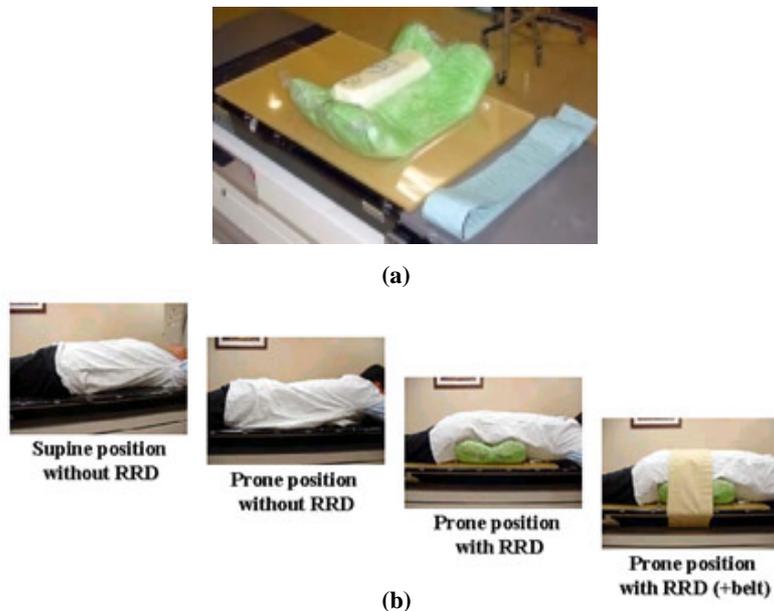


Fig. 1. Patient with a liver cancer in the respiratory motion reduction device during treatment planning. The respiratory motion reduction device, panel and belt are visible. It was tested for both supine/prone position without RRD and prone position with RRD (in the abdomen) when patients breathed freely; (a) RRD device, (b) patient setup

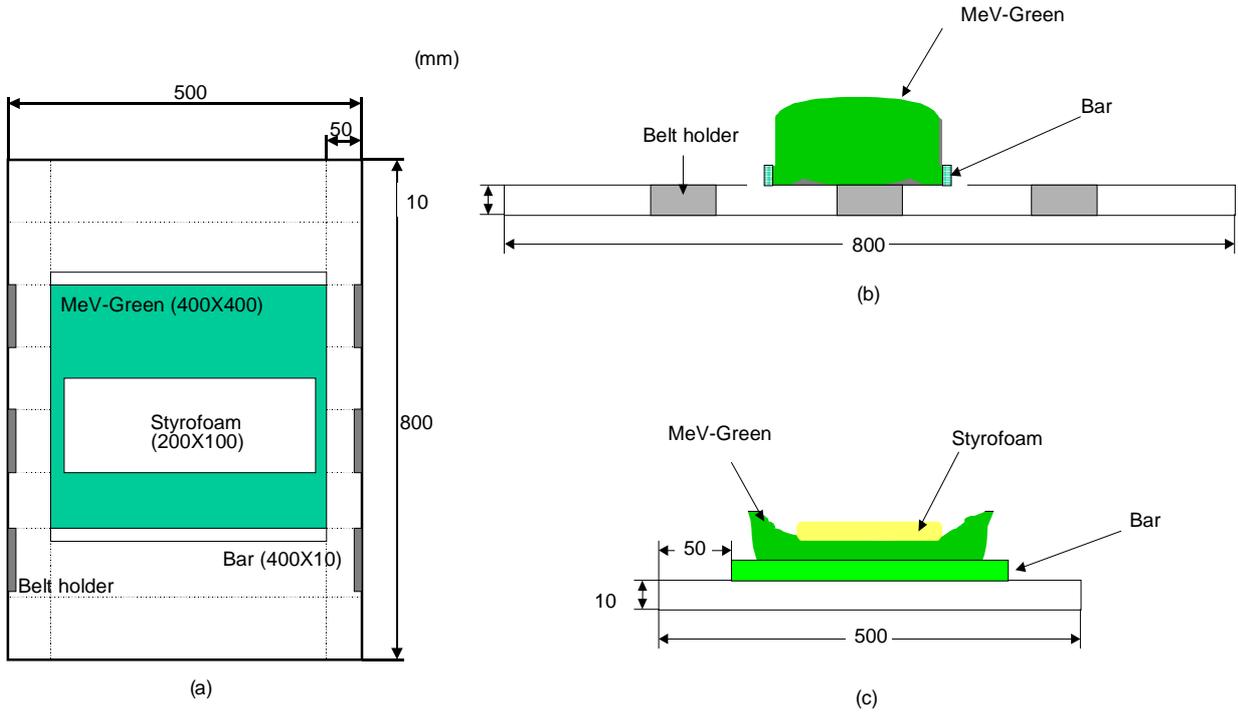


Fig. 2. Representative construction of the respiratory motion reduction device (RRD); (a) plane view, (b) lateral view, (c) front view

coni, USA) 등을 사용하였다. 간암환자 10명을 대상으로 하여 모의치료 시에 방사선투시영상을 이용하여 횡경막의 움직임을 관찰하였고, 이를 내부장기의 움직임으로 판단하였다. 영상 수집은 본원에서 자체 제작한 RRD를 복외위 자세에서 간과 상 복부에 각각 위치시킨 결과를 분석하였다. 또한 환자자세에 따른 차이를 보기 위해 양외위와 복외위 자세에서의 운동도 조사하였다.

3. 전산화 단층촬영영상을 이용한 장기 움직임의 측정

환자 3명을 대상으로 자연스럽게 호흡하면서 숨을 최대한 들이마셨을 때와 내쉬었을 때의 장기의 움직임을 조사하였다. 영상 수집은 전산화단층촬영영상으로부터 재구성한 DRR 영상을 분석함으로써 수행하였고, 이때 전산화단층촬영영상은 3 mm 간격의 두께로 66장을 얻었고, 이때 관심영역은 27.5 cm, 화소크기는 0.43 mm 이었다. 각각의 경우에서 전산화 단층촬영영상을 얻은 후 이를 중첩시킴으로써 조사면 중심점의 이동과 내부장기의 움직임 등을 거리와 각도로써 분석하였다. 분석은 다중영상 융합 소프트웨어를 사용하여 수행하였고, 총 범위 측정은 다음 식을 사용하였다.¹³⁾

$$SD_{total}^2 = SD_{lat}^2 + SD_{ap}^2 + SD_{long}^2$$

SD_{total}^2 : Standard deviation of total shift length

SD_{lat}^2 : Standard deviation of lateral (right/left) shift length

SD_{ap}^2 : Standard deviation of vertical (anterior/posterior) shift length

SD_{long}^2 : Standard deviation of longitudinal (superior/ inferior) shift length

4. 정상간의 방사선 조사 용적 분석

방사선 투시영상을 이용한 호흡으로 인한 장기 움직임의 측정에서 얻어진 방사선 조사면 여유분을 고려하여 10명의 간암환자를 대상으로 방사선치료계획장치(AcQ-Plan, Marconi, USA)를 이용해서 방사선 치료계획을 수립하였다. PTV는 GTV에 환자자세 오차와 호흡으로 인한 장기의 움직임을 고려한 방사선 조사면 여유분을 포함하는 크기로 설정하였다. 호흡에 의한 장기의 움직임은 방사선 투시영상에서 우 폐 횡경막의 이동거리를 관찰함으로써 고려하였다. 치료계획은 정상간에 조사되는 선량을 최소화하는 방향으로 수립하여 정상간의 선량체적 히스토그램을 분석하고, 전체 간 용적 중 치료선량의 50%가 조사되는 정상간 용적을 분석하였다.

결 과

1. 방사선 투시영상을 이용한 장기 움직임의 측정

횡경막의 이동 거리는 양와위 자세에서 16 ± 1.9 mm 이었고, 복와위 자세에서 12 ± 1.9 mm으로 복와위 자세가 양와위 자세에 비해 4 mm 작았다. 복와위 자세에서 본원에서 자체 제작한 RRD를 사용한 경우에는 횡경막의 이동거리가 5 ± 1.4 mm으로 장기의 움직임을 줄일 수 있었고, 여기에 벨트를 추가 사용 시에는 3 ± 0.9 mm으로 장기의 움직임을 최소화 할 수 있었다(Table 1, Fig. 3, 4).

2. 전산화 단층촬영영상을 이용한 장기 움직임의 측정

환자는 자연스럽게 호흡하면서 숨을 최대한 들이마셨을

Table 1. Movement of Diaphragm with and without RRD in the Natural Respiration (patients 10)

Patient no.	Position		
	Supine vs. Prone	Prone	
		without RR	with RRD
1	15 vs. 10	3	3
2	17 vs. 13	5	4
3	13 vs. 10	4	3
4	16 vs. 12	3	2
5	20 vs. 16	6	5
6	17 vs. 13	3	2
7	14 vs. 10	4	3
8	15 vs. 10	4	3
9	17 vs. 12	5	3
10	15 vs. 11	3	2
Average	16 ± 1.9 vs. 12 ± 1.9	5 ± 1.4	3 ± 0.9

때와 내쉬었을 때의 전산화 단층촬영영상을 얻은 후 이를 중첩시킴으로써 조사면 중심점 이동과 좌·우 신장 및 정장 간 등, 내부 장기의 움직임을 거리와 각도로써 분석하였다. 조사면 중심점은 좌·우로 2.2~4.0 mm, 전·후면으로 1.3~12.4 mm, 위·아래로 15.5~26.2 mm의 움직임이 있었고, 좌측 신장은 좌·우로 1.2~1.7 mm, 전·후면으로 1.4~6.0 mm, 위·아래로 7.0~17.0 mm 이었고, 우측 신장은 1.2~4.9 mm, 전·후면으로 2.1~7.0 mm, 위·아래로 14.0~24.3 mm의 움직임이 있었다. 총 변위는 종양이 18.7~26.5 mm, 좌측 신장이 7.2~18.1 mm, 우측신장이 14.5~25.8 mm 이었다. 이로써 방사선 투시 영상을 이용한 횡경막의 이동거리를 전산화 단층촬영영상을 이용한 장기움직임 측정으로 확인함으로써 실제 장기 움직임을 관찰할 수 있었다(Table 2, Fig. 5).

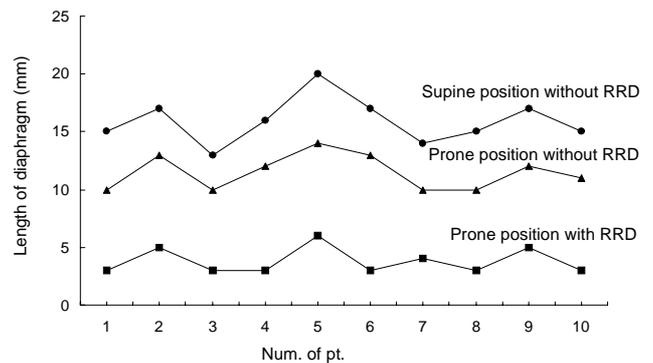


Fig 4. A representative anterior-posterior separations of a patient are visible. Length of diaphragm is plotted against patients. The sign (○) indicates the setup supine position without RRD, (△) prone position without RRD and (□) prone position with RRD.

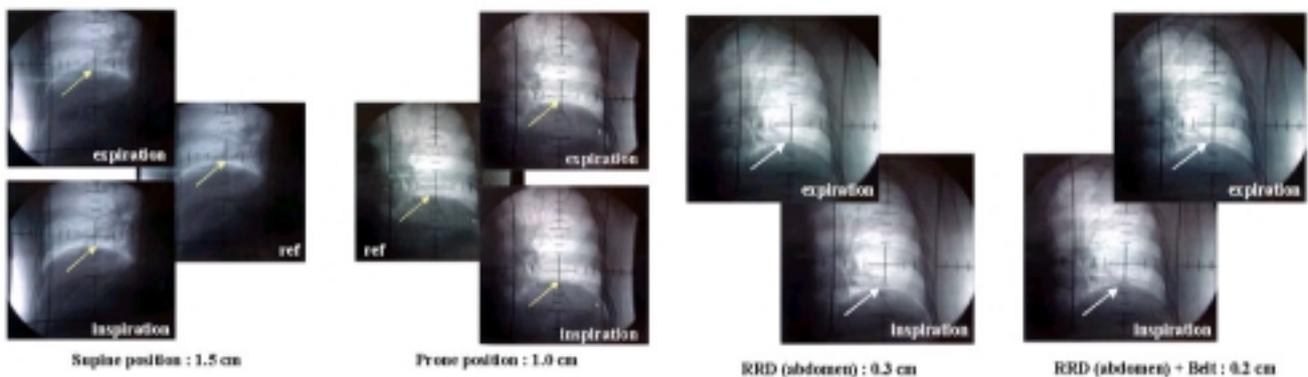


Fig. 3. Fluoroscopy images for a liver tumor patient acquired movement of diaphragm during inspiratory and expiratory phases are visible. It was tested for both supine/prone position without RRD and prone position with RRD (in the abdomen) when patients breathed freely.

Table 2. Respiratory Movement of Center-of-Volume of Gross Tumor Volume (GTV) and Each Kidney

Patient no.	GTV				Kidney							
					Lt. Kidney				Rt. Kidney			
	Lat.	Long.	Vert.	Dist.	Lat.	Long.	Vert.	Dist.	Lat.	Long.	Vert.	Dist.
1	-2.2	-18.0	4.6	18.7	-1.4	-17.0	6.0	18.1	1.2	-16.0	2.1	16.2
2	3.4	-26.2	1.3	26.5	1.7	-13.5	2.0	13.8	-4.9	24.3	7.0	25.8
3	4.0	-15.5	-12.4	20.2	1.2	-7.0	1.4	7.2	1.7	-14.0	3.5	14.5

Abbreviations: Lat, lateral shift; Long, longitudinal shift; Vert, vertical shift; Dist, distance
 The sign (-) indicates shift to the right, inferior or posterior direction when moved from the exhale to inhale position

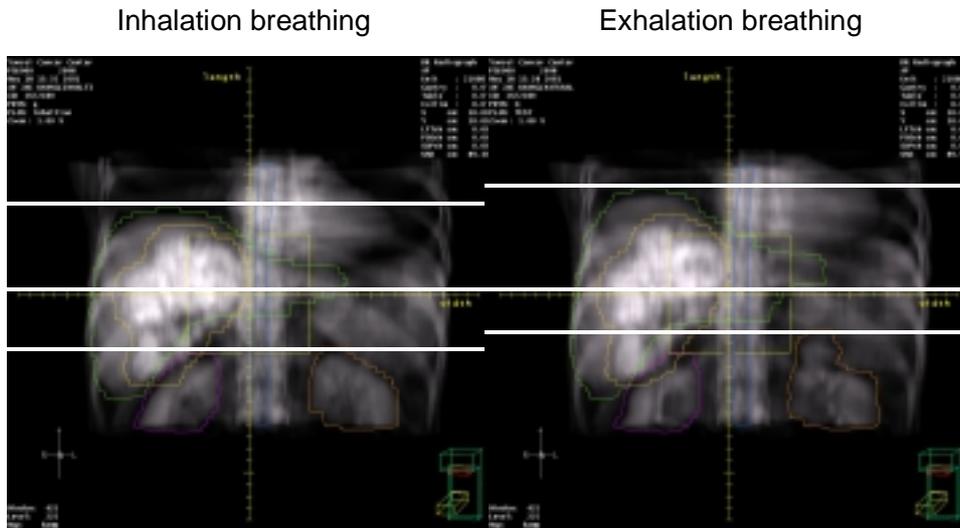


Fig. 5. Liver tumor and each kidneys at the inhale and exhale phases projected onto the digitally reconstructed radiographs (DRR). Right view: exhale breath hold CT data, Left view: inhale breath hold CT data.

3. 정상간의 방사선 조사용적 분석

방사선투시영상을 이용한 호흡으로 인한 장기움직임의 측정에서 얻어진 횡경막 이동거리 값을 환자 10명을 대상으로 치료계획에서의 PTV에 적용해 처방선량의 50%가 조사되는 정상 간 용적을 분석한 결과, 방사선치료계획에 따른 DVH에서 전체 간 용적 중 처방선량의 50%가 조사되는 정상간 용적은 호흡운동감소장치를 사용하지 않은 경우에 양와위 자세에서 43.7%, 복와위 자세에서 40% 이었고, 호흡운동 감소장치를 사용한 경우에 복와위 자세에서 30.7%, 여기에 벨트 고정장치를 추가 사용하였을 경우에는 21%로서 방사선에 조사되는 정상간 용적이 최대 22.7% 감소됨을 알 수 있었다. (Table 3, Fig. 6)

Table 3. A Representative Dose Volume Histogram (DVH) of Liver Volume with RRD

Patient no.	PTV margins (cm)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1	32	36	43	47.9	53.6
2	24.1	31.1	38.3	43.9	46
3	38.7	46.4	52.7	58.2	60.2
4	27.3	33	41.3	46	58.3
5	20	24	32.2	38.8	41
6	32	39.2	45.3	49	53.5
7	39.2	44	51.4	57.2	62.2
8	34.3	42.1	48.5	54	56.6
9	33	41	47.3	53	55.9
10	26.3	31	37	41.3	47
Mean (%)	30.7	36.8	43.7	48.9	53.4

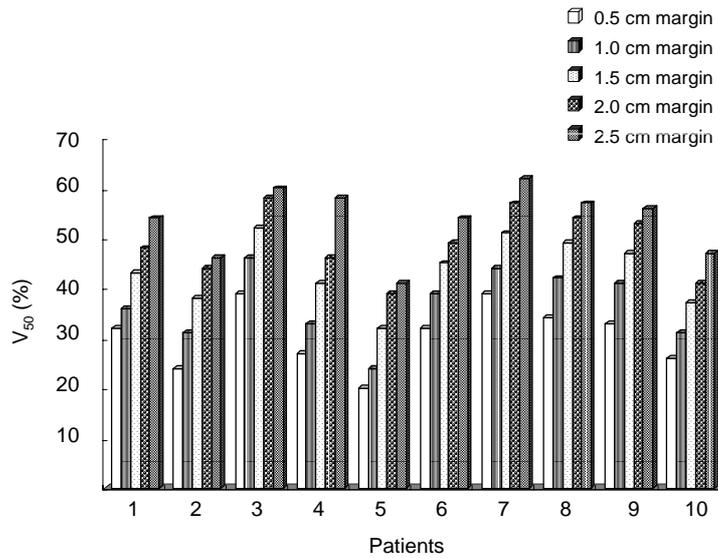


Fig. 6. A representative dose volume histogram (DVH) of liver volume with RRD are visible. It was showed treatment margins vs. the volume of liver receiving 50% of prescribed dose for all patients.

고안 및 결론

폐, 간 등 호흡에 따른 횡경막의 이동에 민감한 종양을 방사선치료 할 때 방사선 조사 체적은 호흡에 의한 종양의 이동을 포함하여야 하므로 종양의 움직임이 많은 경우에 조사 체적이 증가하게 되어 정상조직에 조사되는 방사선량이 증가하게 되고, 이로 인해 방사선 독성의 가능성이 높아지게 된다. 따라서 호흡으로 인한 종양의 움직임을 최소화하여서 종양의 움직임을 고려한 PTV를 최대한 작게 하려는 노력은 국소 제어를 이루는 동시에 방사선치료로 인한 독성을 최소화 하고자 하는 방사선치료의 목적에 필수적이다. 따라서 호흡조절 방사선치료에 대한 관심이 고조되어 왔다.

최근에 Wong 등¹⁴⁾은 인위적으로 호흡을 조절함으로써 호흡으로 인한 장기 움직임을 방지하려는 연구를 진행하고 있다. 이는 최근 3차원 입체조형방사선치료가 호흡으로 인한 종양의 움직임을 적절하게 반영하지 못하는 반면, 호흡조절 방사선치료는 호흡을 조절함으로써 종양의 움직임을 최소화하여 방사선 치료계획 시 불필요한 방사선조사면 여유분을 줄일 수 있고, 이로 인해 주변 정상조직의 방사선 독성으로 인한 제한을 극복할 수 있다는 점에서 이에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그러나, 현재 호흡조절 방사선치료에 사용되고 있는 ABC (active breathing control) 제품은 호흡을 인위적으로 조절해 주어야 하고, 기계의 주요 작동장치에 접

속되는 고가의 별도 치료장치를 구매해야 하는 단점이 있고, 또한 특정제품에만 한정되므로 범용성이 없다. 이는 기계 고장율을 높이며 다수의 환자를 치료하는 기관에서는 치료시간증가로 인해 적절치 않은 것으로 보인다. 따라서, 환자의 호흡에 따른 장기의 움직임으로 인한 치료부위의 이동을 적절히 보상하는 개선된 방사선 치료방법을 개발함에 있어서 국내 현실에 적합한 즉, 기존의 방사선 치료기에 널리 적용될 수 있는 범용시스템의 연구개발이 절실히 요구되어진다.

본 연구에서는 내부장기의 움직임에 의한 오류를 최소화하는 방안을 모색하였고, RRD, 벨트, 스티로폼 판 등을 사용한 결과, 장기의 움직임을 감소시킬 수 있었다. 이를 치료계획에서 PTV에 적용해 전체 간 용적 중 처방선량의 50%가 조사되는 정상간 용적을 분석한 결과, 정상간에 조사되는 선량이 최대 22.7% 까지 감소되어 환자 고정효과와 함께 환자 호흡에 따른 장기운동에 기인한 PTV를 감소시킬 수 있었다. 또한, 영상수집, 모의치료, 치료 시에 재현성 있게 사용할 수 있는 간편하고 정확한 방법임을 알 수 있어서 그 유용성을 확인할 수 있었다. 아울러서 RRD를 사용함으로써 일어날 수 있는 인위적인 해부학적 변화를 알아보기 위해 전후, 좌우 방향에서 전산화 단층 촬영 영상을 수집, 분석한 결과 해부학적 변화가 없음을 알 수 있어, RRD의 유용성을 확인할 수 있었다.

향후 장기 위치, 장기 크기, 선량-체적간 오차함수로 나타낸 값인 정상조직 손상확률(normal tissue complication pro-

bability, NTCP)과 모든 종양세포의 근절을 위한 확률을 선량의 함수로 나타낸 종양치유확률(tumor control probability, TCP) 등의 요인에 대한 분석과 함께 실제 임상에 적용하여 충분한 추적관찰을 통한 임상결과와의 연관성에 대한 연구가 필요하리라 생각된다. 또한 선량증가 프로토콜 연구, 방사선 생물학적인 연구 등을 종합한다면 방사선 치료의 성적을 더욱 향상시켜 암 환자의 치료에 보다 많이 기여할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Mary MA, George TY, Joseph RC, et al. Dose volume histogram analysis of liver radiation tolerance. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1986;12:31-35
2. Henkelman RM, Mah K. How important is breathing in radiation therapy of the thorax? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1982;8:2005-2010
3. 금기창, 이상욱, 신현수 등. 간암환자에서 Electronic portal imaging device (EPID)를 이용한 자세 오차 및 종양이동거리의 객관적 측정. 대한 방사선 종양학회지 2000;18:107-113
4. 이 석, 성진실, 김용배 등. 간암환자치료 시 호흡에 인한 장기이동을 최소화하기 위한 BHD (Breathing Hold Device)의 유용성에 관한 연구. 추계방사선종양학회 초록집 2000:62
5. Rardall KT, James MB, Lon HM, et al. Potential benefits of eliminating planning target volume expansions for patient breathing in the treatment of liver tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;38:613-617
6. Balter JM, Ten Heken RK, Lam KL. Assessment of margins for ventilatory motion. *Med Phys* 1994;21:913-920
7. Antolak JA, Rosen II. Planning target volumes for radiotherapy: how much margin is needed? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;44:1165-1170
8. Indra JD, Rachele ML, Benjamin M, et al. Efficacy of a belly board device with CT-simulation in reducing small bowel volume within pelvic irradiation fields. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;39:67-76
9. Stroom JC, Koper PC, Korevaar GA, et al. Internal organ motion in prostate cancer patients treated in prone and supine treatment position. *Radiotherapy & Oncology* 1999; 51:237-248
10. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy. ICRU Report 50, ICRU, 1993
11. Ramsey CR, Scaperoth D, Arwood D, et al. Clinical efficacy of respiratory gated conformal radiation therapy. *Medical Dosimetry* 1999;24:115-119
12. Langen KM, Jones TL. Organ motion and its management. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;50(1):265-278
13. Dennis M, Joseph H, Kenneth ER, et al. Technical aspects of the deep inspiration breath-hold technique in the treatment of thoracic cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000;48:1175-1185
14. John WW, Michael BS, David AJ, et al. The use of active breathing control (ABC) to reduce margin for breathing motion. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;44:911-919

Abstract

Use of Respiratory Motion Reduction Device (RRD) in Treatment of Hepatoma

Suk Lee, M.S.^{*†}, Jinsil Seong, M.D.^{*}, Yong Bae Kim, M.D.^{*}, Kwang Hwan Cho, M.S.^{*}
Joo Ho Kim, R.T.T.^{*}, Sae Kyung Jang, M.D.^{*}, Soo Il Kwon, Ph.D.[†],
Sung Sil Chu, Ph.D.^{*} and Chang Ok Suh, M.D.^{*}

^{*}Department of Radiation Oncology, Brain Korea 21 Project for Medical Science,
Yonsei University, Seoul, Korea

[†]Department of Medical Physics, Kyonggi University, Seoul, Korea

Purpose: Planning target volume (PTV) for tumors in abdomen or thorax includes enough margin for breathing-related movement of tumor volumes during treatment. Depending on the location of the tumor, the magnitude of PTV margin extends from 10 mm to 30 mm, which increases substantial volume of the irradiated normal tissue hence, resulting in increase of normal tissue complication probability (NTCP). We developed a simple and handy method which can reduce PTV margins in patients with liver tumors, respiratory motion reduction device (RRD).

Materials and methods: For 10 liver cancer patients, the data of internal organ motion were obtained by examining the diaphragm motion under fluoroscope. It was tested for both supine and prone position. A RRD was made using MeV-Green and Styrofoam panels and then applied to the patients. By analyzing the diaphragm movement from patients with RRD, the magnitude of PTV margin was determined and dose volume histogram (DVH) was computed using AcQ-Plan, a treatment planning software. Dose to normal tissue between patients with RRD and without RRD was analyzed by comparing the fraction of the normal liver receiving to 50% of the isocenter dose. DVH and NTCP for normal liver and adjacent organs were also evaluated.

Results: When patients breathed freely, average movement of diaphragm was 12 ± 1.9 mm in prone position in contrast to 16 ± 1.9 mm in supine position. In prone position, difference in diaphragm movement with and without RRD was 3 ± 0.9 mm and 12 mm, respectively, showing that PTV margins could be reduced to as much as 9 mm. With RRD, volume of the irradiated normal liver reduced up to 22.7% in DVH analysis.

Conclusion: Internal organ motion due to breathing can be reduced using RRD, which is simple and easy to use in clinical setting. It can reduce the organ motion-related PTV margin, thereby decrease volume of the irradiated normal tissue.

Key Words: Respiratory motion reduction device (RRD), Internal organ motion, Dose volume histogram (DVH), Hepatoma