

호흡동조방사선치료를 위한 4D-CT simulation을 이용한 동적장기와 종양 움직임 평가

Evaluation 4D-CT Simulation used of Motion Organ and Tumor for Respiratory Gated Radiation Therapy

김승철*, 김민아**

송호대학교 방사선과*, 송호대학교 치위생과**

Seung-Chul Kim(sckim@songho.ac.kr)*, Min-A Kim(uriaju@songho.ac.kr)**

요약

복부 및 흉부의 방사선 치료 시 호흡에 의한 종양의 움직임을 평가하고, 그 데이터를 활용하여 종양과 정상조직을 구분함으로써 정상조직에 대한 손상을 최소화하고 종양 치료 효과를 극대화 하고자 하였다. 폐암과 간암 환자를 각 20명씩 대상으로 4D-CT simulation과 GE사의 Light speed-16 검사장비로 50% top phase를 기준으로 30~70 % gating phase 구간과 0~90 % full phase 구간에서 움직임을 측정하였다. 폐와 간에서 종양의 full phase가 0~90 % 와 gating phase가 30~70 % 일 경우 GTV의 움직임과 크기를 비교하였다. I(inferior)에서 가장 큰 차이가 있었으며, full phase가 0~90%일 때 종양 움직임의 정도는 상대적으로 컸으며, gating phase를 30~70 % 하였을 때 종양 움직임이 평균 7.1mm 감소된 다는 것을 확인 하였다. 동일한 방법으로 4D-CT simulation에서 full phase가 0~90 %일 때 움직임 값과 gating phase가 30~70 % 일 때 움직임 값을 비교해보면 full phase가 0~90% 보다 gating phase가 30~70% 일 때 2배 이상 움직임이 감소한다는 것을 확인하였다. 따라서 4D-CT simulation에서 얻은 결과를 이용하여 환자치료에 적용한다면 정상조직에 대한 피폭을 현저히 경감시킬 수 있을 것이며, 치료 후 방사선 장애와 환자의 고통 감소 등 효과적인 치료 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 4차원컴퓨터단층촬영 | 방사선치료용적(GTV) | 호흡동조방사선치료 |

Abstract

when the radiation therapy of chest and abdomen, evaluation of the tumor motion and the data was used to minimize damage to normal tissues by separating the tumor and normal tissue and maximize tumor therapeutic effect. Lung and liver cancer each 20 patients based on the 50% top phase using 4D-CT simulation and Light speed-16 of shooting equipment 30 ~ 70 % gating phase interval and 0 ~90 % movement in the full phase interval was measured. If the full phase 0 ~ 90% with gating phase 30~70% of tumors in the liver and lung is shown the biggest difference compared to the motion and the size of the GTV was the largest difference in the I(inferior), full phase 0~90% degree of tumor motion only when a relatively large, gating phase to 30~70% of the tumor when the movement has been found that the reduced average 7.1mm. In the 4D-CT simulation comparing the motion value when the full phase 0~90 % and gating phase 30~70 % when the motion value, twice in the gating phase 30~70 % more than full phase 0~90 % showed a small movement value. The exposure to normal tissues, based on the results obtained from the 4D-CT simulation can be significantly alleviated, After treatment will reduce pain and disability in patients with radiation is expected to be able to effective treatment.

■ keyword : | 4D-CT | GTV | Respiratory Gating Radiation(RGRT) |

I. 서론

방사선치료란 고에너지 방사선을 이용하여 암세포를 치료하는 것을 의미하며, 외과적 수술, 항암화학요법은 암 치료의 3대 치료법 중 하나이다. 또한 방사선치료는 삼차원 입체조형방사선치료, 정위방사선치료, 세기조절 방사선치료 등 입체적인 공간에서 방사선분포를 제어하며 치료하는 추세이며, 1일 수분에서 수 십분 정도 시간이 소요된다[16]. 또한 치료 시 고통이 없다는 장점이 있다. 이와 같은 방사선치료의 궁극적인 목적은 중앙부위에 방사선량을 집중적으로 조사하여 종양세포를 사멸시키고 정상조직에는 방사선량을 최소화 하는 것에 있다. 그러나 호흡에 따라 영향을 받는 장기의 치료 시에는 특별한 주의가 필요하다. 호흡을 고려한 방사선 치료 기법으로는 호흡을 의도적으로 조절하는 방법, 안정된 일정한 주기에 빔을 조절하는 방법, 능동적으로 표적의 움직임을 추적하여 치료하는 방법 등으로 나눌 수 있다. 현재 보편적으로 호흡분석에 사용되는 것은 컴퓨터단층촬영으로서 사차원전산화단층촬영(4-Dimensional Computed Tomography 이하 4D-CT)을 사용하고 있다[12-15]. 원리는 호흡 시에 간이나 폐의 움직임을 정확히 파악하기 위해 간단한 호흡 연습을 한 뒤 호흡동조 CT 촬영을 하고 이를 이용하여 방사선치료 계획을 적용한다. 안정된 호흡주기에만 방사선이 조사 되도록 하는 치료방법이며 보편화 되어 있다. 매일 방사선치료 직전과 도중에 치료기에 부착된 X선 투시 촬영으로 암의 위치를 알아내고, 자신의 호흡 주기에 맞춰 규칙적으로 호흡하면서 방사선치료를 받게 된다. 방사선치료 시 환자 호흡에 의한 종양의 움직임은 정확한 치료선량 분포에 오차를 발생시킬 수 있고[1], 개개인의 호흡 특성이 매우 다양하여 종양의 움직임은 크거나 작게 평가될 수 있다[2]. 최근에는 주변 영역의 방사선 장해를 최소화하기 위해 호흡동조방사선치료가 많이 시행되고 있다. 고도의 주의를 요하는 정위 방사선 수술에서 뿐만 아니라 3D Conformal Therapy에서 호흡 등으로 인한 표적의 움직임이 폐 아래 엽에 위치한 종양이나 복부 종양 등의 환자 치료에서도 나선형 전산화 단층촬영(Helical CT)이 아닌 4D-CT를 이용하여 종양 움직임을 분석하고 치료를 진행하여 불필요한 선량을

최소화 할 수 있다[3]. 그러나 내부 장기의 움직임 호흡 주기와 동조를 이루지 못할 경우 심각한 오차를 유발시킬 수도 있다. 환자에게 호흡을 안정되게 시행할 수 있는 교육 및 연습하는 프로그램 등 유사한 연구들이 이미 보고되었으며[12], 호흡동조 방사선치료를 할 경우 정확한 선량 분포를 확인할 수 있는 정도관리에 관한 연구는 반드시 각 의료기관 및 표준화된 방법이 수반되어야 한다. 팬텀을 이용한 방법들은 보고된 바 있으나, 환자 각각에 따른 호흡신호를 사용하여 원래의 치료 계획된 분포와 검증하는 과정은 보고된 적이 거의 없기에 정밀한 환자 맞춤형 선량 정도관리 시스템이 필요하다. 따라서 방사선치료에서 호흡의 영향을 많이 받을 수 있는 폐암이나 상복부 종양, 간암의 방사선치료에서 호흡 등의 원인으로 종양의 위치가 변할 경우 그 움직임을 고려하여 정상조직의 방사선 피폭을 최소화하고자 방사선치료법에 대하여 시뮬레이션을 이용하여 분석하고자 한다[4-11].

II. 대상 및 방법

1. 대상

서울 소재 A병원의 폐암과 간암 환자 각각 20명씩 4D-CT 촬영한 총 40명의 환자를 대상으로 하였다. 치료 장비로는 사차원 전산화단층촬영기와 OBI(On-board imager) 시스템, RPM(real time position management) 시스템, Exac Trac X-ray 6D 시스템, Vision RT 시스템 등이 장착된 사차원방사선 치료 전용 장비인 Varian IX 장비, Novalis TX 장비를 이용하였다.

2. 방법

폐암 20명과 간암 20명 총 40명의 환자를 대상으로 호흡으로 인한 종양의 움직임이 있을 때 환자별로 각각 50% top phase 기준으로 움직임을 측정, 30~70 % gating 구간에서 움직임 측정, 0~90 % full phase 구간에서 움직임을 Light speed-16 CT[그림 1]장비를 각각 실험하였다.



그림 1. Light speed-16 CT 장비에서 점선원은 호흡 움직임을 감지할 수 있는 센서, 노란색 화살표는 센서 감지 방향

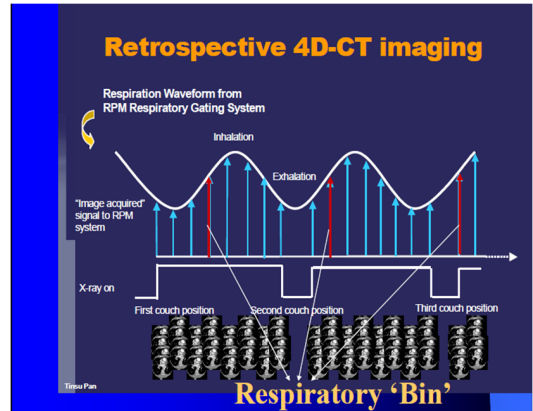


그림 3. 호흡동조 시 4D-CT를 이용한 영상 획득 방법

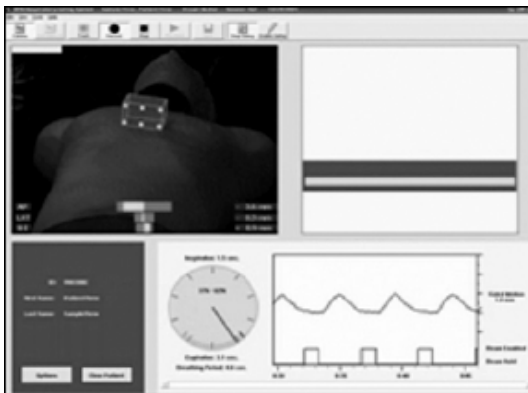


그림 2. 4D CT acquisition for a patient using real-time position monitoring system

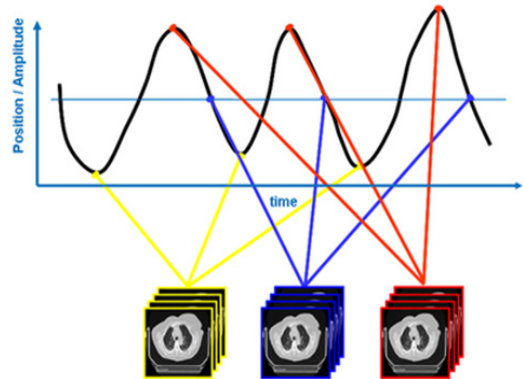


그림 4. 최대값, 최소값 비교 분석

3. 방사선치료계획 및 분석

호흡주기에 해당하는 모든 데이터를 치료계획 시스템에서 종양의 크기를 확정하고 full phase 0~90 %와 gating phase 30~70 %했을 경우의 GTV를 R(right), L(left), A(anterior), P(posterior), S(superior), I(inferior)방향으로 최대값, 최소값을 비교하였다[그림 3][그림 4].

III. 결과

1. 폐암 환자

20대~80대의 남성 폐암 환자 20명을 대상으로 호흡에 따른 full phase 0~90 %에서 나이별 종양의 움직임과[표 1] gating phase 30~70%를 비교하였다[표 2]. 종양 full phase 0~90 %로 하였을 때 inferior 방향에서 61세~70세인 환자의 움직임이 가장 컸으며(평균 9.08 ±4.33 mm), 71세~80세인 환자의 움직임이 두 번째로 크게 나타났다(평균 7.25±9.32 mm). 실제 환자의 경우를 살펴보면 4D-CT를 촬영할 때의 호흡신호와 방사선 치료시의 호흡신호가 달라지는 것을 많이 볼 수 있다.

표 1. lung cancer 환자 나이별 호흡동조를 이용한(full phase)에 따른 종양의 위치 변화 평균값과 표준편차

LUNG CA				GTV											
				Full Phase											
				Motion(mm)(n±σ)											
나이	인원 수	BPA*	BPSD**	Rt		Lt		Ant		POS		Sup		Inf	
20세 이하	1	3.6	0	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	0
51~60세	1	3.7	0	2	0	4	0	4	0	2	0	0	0	5	0
61~70세	13	3.61	0.77	1.77	1.30	0.85	0.98	1.67	1.30	2.00	1.15	0.00	0.00	9.08	4.33
71~80세	4	3.46	0.76	1.00	0.82	1.00	0.82	2.00	0.82	1.50	1.00	0.00	0.00	7.25	9.32
80세 이상	1	3.4	0	2	0	0	0	2	0	3	0	0	0	4	0

* BPA: Breathing period average(sec)
 ** BPSD: Breathing period standard deviation(σ)

표 2. 폐암 환자 나이별 호흡동조를 이용한 gating phase 30~70% 에 따른 종양의 위치 변화 평균값과 표준편차

LUNG CA				GTV											
				Gating Phase 30~70%											
				Motion(mm)(n±σ)											
나이	인원 수	BPA*	BPSD**	Rt		Lt		Ant		POS		Sup		Inf	
20세 이하	1	3.6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
51~60세	1	3.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
61~70세	13	3.61	0.80	0.5	0.7	0.2	0.4	0.2	0.3	1.2	0.9	0.0	0.0	3.1	2.1
71~80세	4	3.46	0.76	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.3	1.0	0.0	0.0	2.8	1.5
80세 이상	1	3.4	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0

* BPA: Breathing period average(sec)
 ** BPSD: Breathing period standard deviation(σ)

61~70세, 71~80세 두 연령 군에서 오른쪽(RT), 왼쪽(LT), 정면(ANT), 후면(POS), 누운(SUP) 방향에서 폐암 환자 종양의 움직임은 최소 1 mm, 최대 3 mm 정도 차이가 있었으나, 아래(INF) 방향에서는 full phase 와 gating phase 30~70 %를 종양의 움직임을 비교하였을 때[그림 5][그림 6] 두 연령군 모두 I(inferior)방향에서 가장 큰 차이가 나타났다. full phase 0~90 %의 최대값은 21 mm이었고, gating phase 30~70 %에서의 최소값은 4 mm로 가장 큰 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

2. 간암 환자

남성 간암 환자 20명을 폐암 환자와 같은 조건으로 비교하였을 때 오른쪽 방향은 최대 2 mm, 왼쪽방향은 최대 3 mm, 정면방향은 최대 5 mm 정도 미미한 차이가 있었다. 후면방향과 누운자세 방향에서는 차이가 없었고, 아래(inferior)방향에서 최대값은 14 mm, 최소값은 3 mm으로 큰 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 평균값으로 비교하였을 때 최대값은 10.6 mm, 최소값은 3.5 mm 로 7.1 mm의 차이가 있었다[표 3][표 4].

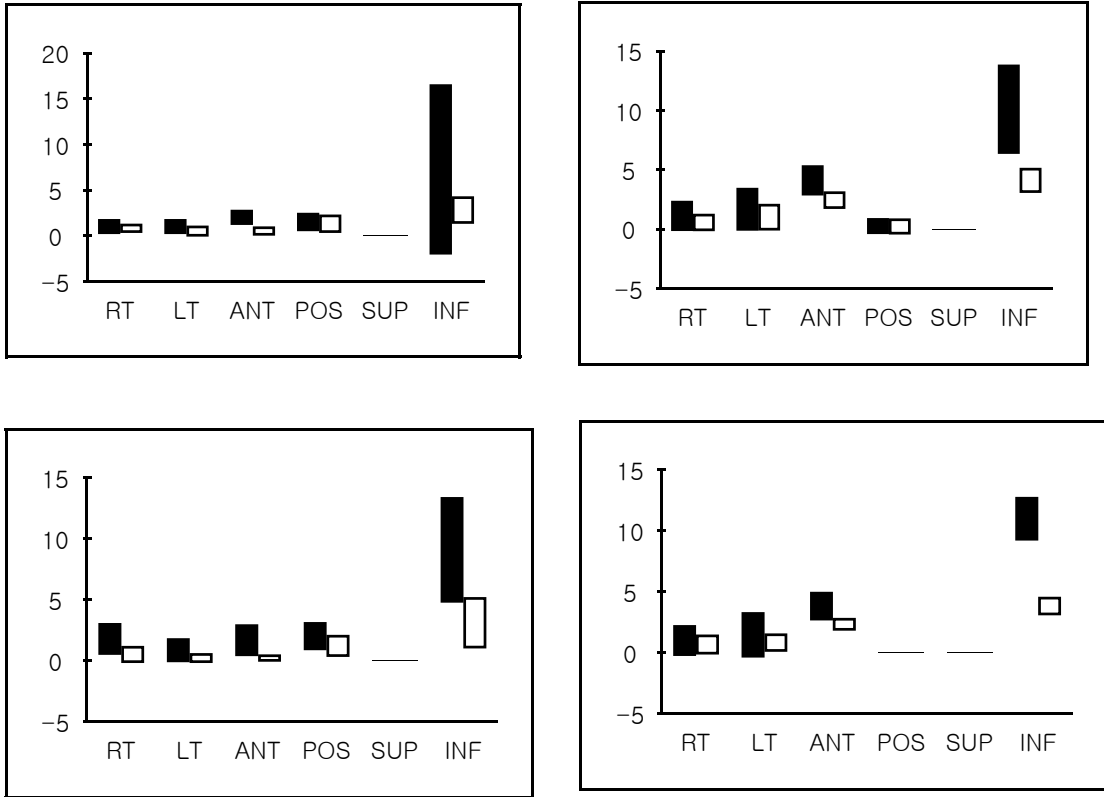


표 3. 간암 환자 나이별 호흡동조를 이용한(full phase)에 따른 종양의 위치 변화 평균값과 표준편차

HCC-PVT				GTV											
				Full Phase											
				Motion(mm)(n±σ)											
나이	인원수	BPA*	BPSD**	Rt		Lt		Ant		POS		Sup		Inf	
41~50세	2	3.85	1.48	3.50	2.12	0.00	0.00	3.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	0.71
51~60세	9	3.89	1.40	1.11	1.27	1.67	1.80	4.11	1.27	0.25	0.67	0.00	0.00	10.11	3.76
61~70세	6	3.67	0.45	1.00	1.26	1.46	1.86	3.83	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	1.79
71~80세	3	3.47	0.65	1.33	2.31	1.19	1.15	6.00	3.46	0.00	0.00	0.00	0.00	11.67	3.21

* BPA: Breathing period average(sec)
 ** BPSD: Breathing period standard deviation(σ)

표 4. 간암 환자 나이별 호흡동조를 이용한 gating phase 30~70% 에 따른 종양의 위치 변화 평균값과 표준편차

HCC-PVT				GTV											
				Gating Phase 30~70%											
				Motion(mm)(n±σ)											
나이	인원 수	BPA*	BPSD**	Rt		Lt		Ant		POS		Sup		Inf	
41~50세	2	1.90	1.48	2.50	2.12	0.00	0.00	1.50	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00
51~60세	9	2.11	1.40	0.56	0.73	1.00	1.12	2.44	0.73	0.22	0.67	0.00	0.00	4.11	1.05
61~70세	6	2.24	0.45	0.67	0.82	0.83	0.75	2.33	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83	0.75
71~80세	3	4.05	0.65	0.67	1.15	1.33	1.15	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.67	1.53

* BPA: Breathing period average(sec)
 ** BPSD: Breathing period standard deviation(σ)

IV. 고찰

폐암과 간암의 경우 종양의 위치에 대한 보정뿐만 아니라 호흡에 따른 움직임의 보정을 위하여 호흡동조 방사선치료를 시행한다. 호흡동조방사선치료를 선행하여 호흡할 때 폐나 간의 움직임을 정확히 파악하기 위해 간단한 호흡 연습을 한 뒤 호흡동조 CT 촬영으로 4D-CT를 적용하였다. 그러나 아직 4차원 방사선치료에 대한 정확한 선량분포를 계산해 낼 수 있는 방사선치료계획 시스템이 존재하지 않는 것이 호흡 동조 방사선 치료의 가장 큰 문제점이라고 할 수 있다. 현재는 종양조직의 움직임만을 고려하고 있지만, 방사선이 조사되는 영역에 존재하는 정상조직 혹은 표적장기(critical organ)에 대한 정밀한 계산이 이루어지지 않으므로 환자가 실제로 받게 되는 선량의 정확한 평가가 이루어지고 있지 않다[12]. 따라서 호흡동조 방사선치료를 고려할 때에는 장기의 움직임으로 인해 오히려 중요 장기에 계획된 선량보다 높은 선량이 조사될 수 있는 가능성이 존재한다. 이러한 점을 고려하여 현재 환자의 전체 선량이 증가함에도 불구하고 보다 정확한 종양 조직의 정의를 위하여 4D-CT를 여러 번 걸쳐서 촬영한 후, 그 결과를 종합하여 최종적인 종양 체적을 결정하는 연구가 활발히 진행되고 있다[12][13]. 또한 방사선치료에 있어서 평가해야 할 사항 중에서 2차원적인 선량분포만을 검증할 수 있는 방법과 결과를 제시한 연구도 있다[12]. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 보완하고자 호흡에 의한 움직임을 평가하기 위한 실험을 시행한 결과 폐암

환자 20명은 A(anterior)방향에서 full phase 0~90% 평균 1.75 mm에서 gating phase 30~70% 평균 0.2 mm로 1~4 mm 차이가 있었으며, P(posterior)방향에서는 full phase 0~90% 평균 1.85 mm에서 gating phase 30~70% 평균 1.2 mm로 2~4 mm정도의 미미한 차이가 있었다. 그리고 S(superior)방향에서는 차이가 없었으며, I(inferior)방향에서 가장 큰 차이가 있었던 환자의 경우 full phase 0~90% 영상에서 21 mm이었다. 반면 gating phase 30~70%에서의 4 mm로 full phase 0~90%에 비해 상당히 작은 움직임이 있다는 것을 확인하였다. 움직임이 큰 차이를 보이는 환자의 경우는 폐 하엽에 종양이 위치하여 호흡에 의한 움직임이 영향을 많이 받는 것으로 평가되었다. 또한 RPM(Respiratory Gating System)의 phase gating 방식에서 기준 호흡에 비하여 큰 변화가 있는 호흡변화에서는 호흡신호가 검은색에서 붉은색으로 바뀌며 사용자에게 경고를 표시하지만 정확하게 환자 호흡을 인식하여 방사선 조사를 주거나 끊을 수 없다. 0.3 cm 이하의 지속적인 기저호흡 변화는 실제 지속적으로 관찰하기도 어렵고, 호흡변화에 맞추어 인위적으로 방사선 조사를 조작하기도 힘든 것이 사실이다[14]. 그리고 비호흡 동조와 호흡 동조시 체적 세기조절 회전 방사선 치료간의 절대 선량 및 방사선량의 분포가 매우 잘 일치 하는 것은 호흡 동조 체적 세기조절회전 방사선 치료기법을 이용하여 호흡에 따라 움직이는 흉부나 복부의 종양치료를 적용이 가능하다고 보고되었다[15].

V. 결론

본 논문에서 gating phase 30~70%값이 full phase 0~90%값보다 종양의 움직임이 감소하는 것을 알 수 있기 때문에 full phase 0~90%에서 치료하는 것보다 gating phase 30~70%하는 것이 효과적이다. 이는 gating phase 30~70%를 시행했을 때 호흡으로 인한 움직임의 보정이 가능하다는 의미이다. 따라서 폐의 하엽에 종양이 위치한 환자와 간암 환자 등 방사선치료 시 호흡으로 종양의 위치가 변할 수 있는 경우 4D-CT를 이용한 호흡동조방사선치료의 시행이 정확한 방사선치료를 가능하게 할 것이고, 정상조직의 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] ICRU-62, "Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (supplement to ICRU report 50)," International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, 1999.
- [2] W. M. Underberg René, J. Lagerwaard Frank, P. Cuijpers Johan, J. Slotman Ben, R. van Sörnsen de Koste John, and Senan Suresh, "Four dimensional CT scans for treatment planning in stereotactic radiotherapy for stage I lung cancer," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.60, No.4, pp.1283-1290, 2004.
- [3] 김민수, 백금문, 김대섭, 강태영, 홍동기, 권경태, "종양의 움직임과 호흡주기에 따른 체적 변화에 대한 연구", 팬텀 Study, 대한방사선치료학회지, 제22권, 제2호, pp.145-153, 2010.
- [4] A. Barnes Elizabeth, R. Murray Brad, M. Robinson Donald, J. Underwood Lori, Hanson John, and H. Y. Roa Wilson, "Dosimetric evaluation of lung tumor immobilization using breath hold at deep inspiration," *Int J Radiat Oncol Phys*, Vol.50, pp.1091-1098, 2006.
- [5] E. Rosenzweig Kenneth, Hanley Joseph, Mah Dennis, Mageras Gig, Hunt Margie, Toner Sean, Burman Chandra, C. C. Ling, Mychalczak Borys, Fuks Zvi, and A. Leibel Steven, "The deep inspiration breath-hold technique in the treatment of inoperable non-small-cell lung cancer," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.48, pp.81-87, 2000.
- [6] Shimizu Shinichi, Shirato Hiroki, Ogura Shigeaki, Akita-Dosaka Hirotohi, Kitamura Kei, Nishioka Takeshi, Kagei Kenji, Nishimura Masaji, and Miyasaka Kazuo, "Detection of lung tumor movement in real-time tumor-tracking radiotherapy," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.51, pp.304-310, 2001.
- [7] H. W. Korin and R. I. Ehman, "Respiratory kinematics of the upper abdominal organs: a quantitative study," *Magn Reson Med*, Vol.23, pp.172-178, 1992.
- [8] S. C. Davies, A. L. Hill, R. B. Holmes, M. Halliwell, and P. C. Jackson, "Ultrasound quantitation of respiratory organ motion in the upper abdomen," *Br J Radiol*, Vol.67, pp.1096-1102, 1994.
- [9] R. Wagman, E. Yorke, and E. Ford, et al, "Respiratory Gating for live tumors: use in dose escalation," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.55, pp.659-668, 2003.
- [10] Guckenberger Matthias, Wilbert Juergen, Meyer Juergen, Baier Kurt, Richter Anne, and Flentje Michael, "Is a single respiratory correlated 4D-CT study sufficient for evaluation of breathing motion," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.67, pp.1352-1359, 2007
- [11] 서예린, 이병용, 신승애, 김종훈, 안승도, 이상욱, 최은경, "A feasibility study on the prediction of tumor location in the lung from skin motion," *Br J Radiol*, Vol.77, pp.588-596, 2004
- [12] J. S. Kim, E. H. Shin, J. S. Shin, S. G. Ju, Y. Y. Han, H. C. Park, and D. H. Choi, "The clinical

implementation of 2D dose distribution QA system for the patient specific respiratory-gated radiotherapy," progress in medical physics, Vol.21, No.2, pp.127-136, 2010.

- [13] Nelson Christopher, Balter Peter, C. Morice Rodolfo, Bucci Kara, Dong Lei, Tucker Susan, Vedam Sastry, Y. Chang Joe, and Starkschall George, "Evaluation of Tumor Position and PTV Margins Using Image Guidance and Respiratory Gating," Int J Radiat Oncol Biol Phys (article in press), 2010.
- [14] J. Y. Na, T. Y. Kang, G. M. Bae, and G. T. Kwon, "Consideration of the accuracy by variation of respiration in real-time position management respiratory gating system", 대한방사선치료학회지, 제25권, 제1호, 2013.
- [15] S. K. Kim, H. S. Lim, and W. S. Kim, "Usefuleaa of gated rapidArc radiation therapy patient evaluation and applied with the amplitude mode," 대한방사선치료학회, 제26권, 제1호, 2014.
- [16] W. P. Hogle, "The state of the art in radiation therapy," Semin Oncol Nurs, Vol.22, pp.212-220, 2006.

김민아(Min-A Kim)

정회원



- 2009년 8월 : 가천대학교 구강보건학 석사
- 2013년 8월 : 원광대학교 보건학과 박사
- 2014년 8월 ~ 현재 : 송호대학교 치위생과 조교수

<관심분야> : 공중보건학, 구강보건교육 등

저자 소개

김승철(Seung-Chul Kim)

정회원



- 2005년 8월 : 고려대학교 의료법학과(법학석사)
 - 2010년 2월 : 고려대학교 법학과(법학박사)
 - 2015년 2월 : 강원대학교 의생명과학과(이학박사수료)
 - 2010년 1월 ~ 현재 : 송호대학교 방사선과 조교수
- <관심분야> : 법의학, 핵의학, 의료법학, 원자력안전법, 면역학 등