

4차원 방사선 치료시 Body Fix의 유용성 평가

Evaluation on Usefulness of Applying Body-fix to Four Dimensional Radiation Therapy

김영재*, 장영일*, 지연상**, 한재복***, 최남길***, 장성주***
광양보건대학교 방사선과*, 광주보건대학교 방사선과**, 동신대학교 방사선학과***

Young-Jae Kim(crying373@hamail.net)*, Young-Il Jang(radpacs@hanmail.net)*,
Yeon-Sang Ji(jys1105@hanmail.net)**, Jae-Bok Han(way2call@naver.com)**,
Nam-Gil Choi(crs723@hanmail.net)***, Seong-Joo Jang(sjjang@dsu.ac.kr)***

요약

본 연구에서는 간암 치료시 Body fix를 이용하여 4DRT를 실시할 경우 종양의 체적, 위치의 변화정도, 종양 및 정상조직의 선량흡수정도를 파악하여 Body fix의 유용성을 평가하였다. 사전 연구에 동의한 23명의 환자를 대상으로 Body fix의 착용 유무에 따라 각기 다른 4차원 모의치료영상을 획득하여 영상을 바탕으로 종양조직 및 정상조직을 설정하고 분석하였다. 종양의 용적을 분석해본 결과 Body fix의 사용이 GTV는 0.17%, CTV와 PTV는 3.2% 정도 체적을 줄일 수 있었으며, 종양의 운동성은 AP방향에서 29.8%, UL방향에서 5.31%의 움직임을 감소시킬 수 있었다. 종양의 흡수선량 값은 Body fix를 사용한 경우가 다소(1.3%) 높았으며 정상조직(정상간, 위, 우측신장, 척수)의 흡수선량은 5% 정도 줄일 수 있었다. 따라서 간암의 4DRT시 Body fix는 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

■ 중심어 : | 4차원 방사선치료 | Body Fix | 간암 |

Abstract

This study investigates the usefulness of body fix in 4DRT on Liver cancer trying to find tumor tissue's volume and located variations, absorbed dose on tumor and normal tissues. Test subjects 23 patients were agreed these test. These patient's have a 4 dimensional CT scan. We make an acquisition on patients CT image by two types -put on the body fix or not-. Average tumor volume reduced by 0.17% on GTV and 3.2% on CTV and PTV. Tumor's variation reduces 29.8%(anterior and posterior, AP) and 5.31% (upper and lower, UL). The absorbed tumor doses under put on the body fix was a little higher(1.3%) than other. Normal tissues'(normal liver, stomach, Rt. kidney, spinal cord) absorbed dose could be reduced approximately 5%. Therefore, using body fix on 4DRT for liver cancer patient is considered effectively.

■ keyword : | Four Dimensional Radiation Therapy | Body Fix | Liver Cancer |

1. 서론

방사선 치료의 본질적인 목적은 병변에 정확한 선량이 전달되고 정상조직에는 최소한의 선량이 흡수되도록

록 하여 치료효과비를 높이는 것이라 할 수 있다.

방사선 치료를 함에 있어서 종양조직과 정상조직이 인접한 경우, 최대한 정상조직을 치료 조사야에 제외시

접수일자 : 2013년 09월 03일
수정일자 : 2013년 09월 11일

심사완료일 : 2013년 09월 24일
교신저자 : 장성주, e-mail : sjjang@dsu.ac.kr

키도록 하며 종양의 움직임 환자의 위치잡이(set-up), 환자의 호흡에 대한 움직임을 고려하여 치료계획용적(PTV, planning target volume)을 정하게 된다[1]. 특히, AAPM 보고서에서는 움직임을 발생하는 종양에 대해 그 움직임이 5 mm 초과할 때 호흡 움직임 관리를 고려하는 것을 제안하였다[2].

호흡으로 인한 종양의 움직임은 인접한 곳에 위치한 결정장기 혹은 정상조직의 방사성 독성을 증가시켜 치료효율을 저하시킬 우려가 있다. 따라서 현재에는 임상적 종양체적(CTV, clinical target volume)에 위치잡이 오차(set-up error)와 내부 종양체적(ITV, internal target volume) 및 외부용적(ETV, external target volume)을 고려하여 방사선 치료에 적용하고 있지만 이는 각각 다른 종양의 기하학적 형태와 개인적인 해부학적 차이에 의해 내부 종양체적의 움직임은 달라질 수 있는 한계점을 지니고 있다[3]. 방사선 치료기술은 과거 3차원 방사선치료(3D-CRT, Three dimension conformal radiation therapy)를 넘어 세기조절 방사선 치료(IMRT, intensity modulated radiation therapy)의 도입으로 크기가 불규칙한 종양이나 인접한 곳에 정상 및 결정장기가 위치한 경우 선량분포상의 조형성(conformality) 및 동질성(homogeneity)이 우수하다고 보고된다[4]. 그럼에도 불구하고 간이나 폐와 같은 흉부 및 상복부 장기는 호흡에 따라 종양 및 정상조직의 체적과 위치가 달라지므로 방사선 치료시 표적설정이 어렵고, 치료효율이 저하되는 경향이 있다. 따라서 현재 간, 폐와 같은 움직임을 갖는 종양에 대한 적절한 호흡 조절 방사선치료(RGRT, respiratory gated radiation therapy)의 연구가 활발히 진행되고 있다[5].

복부에 위치한 종양의 움직임을 최소화하기 위한 기존의 연구들에서는 복부를 압박하거나 호흡을 강제로 조절하는 방법을 이용하였으나 이는 환자의 거부감을 발생시킬 수 있으며 호흡 조절에 대한 협조가 어려울 경우 시행하기 힘든 제한점이 있다[6][7]. Body fix라는 복부압박장치는 상반신부터 하반신까지 비닐로 공기압축을 가함으로써 복부 장기의 움직임을 제어하는 기구인데 기존의 연구를 살펴보면 간암의 토모환자 치료시 Body fix의 사용이 내부 장기의 움직임을 다소 줄일 수

있다는 보고가 있다[8]. 하지만 고정된 치료법이었으며 호흡의 주기에 관한 응용은 제외되었다.

이에 본 논문에서는 Body fix와 호흡주기를 함께 이용하여 4차원 방사선 치료시 Body fix의 사용이 종양의 체적 및 움직임 변화, 선량분포에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다.

II. 실험대상 및 방법

1. 실험 대상

2011년 4월부터 2012년 10월까지 K병원, S병원에서 간암 확진을 받은 환자 중 방사선 치료를 받는 환자 23명을 대상으로 하였으며 이들은 모두 사전에 연구의 목적과 방법을 충분히 설명 받았으며 연구에 동의하였다.

2. 실험 방법

실험대상으로 선정된 환자들은 Whole body vaclock (medical intelligence, germany)을 사용하여 자신의 몸에 맞게 바로누운자세(supine position)로 고정된 후 4차원 모의치료영상을 획득하였다. 그리고 동일한 환자들에게 Body fix를 이용하여 복부압축을 실시하여 모의치료영상을 획득한다. 이때 복부압축의 압축률을 80 mBar로 실시하였다. 4차원 모의치료 영상은 4D-CT(siemens somatom definition AS, germany)을 이용하여 획득한 후 획득된 영상을 치료계획 장비(pinnacle ver. 9.0 philips)로 전송하였으며 치료계획영상을 토대로 종양조직 및 관심장기의 영역을 설정하였고 종양조직에 대한 흡수선량은 60 cGy로 설정하였으며 정상조직은 정상간 조직, 위, 우측 콩팥, 척수로 선정, 치료계획을 수립하여 평가한다.

3. 평가 방법

획득된 각각의 영상을 바탕으로 종양체적(volume)을 분석하였고, 종양의 움직임을 앞(anterior), 뒤(posterior), 상(superior), 하(inferior), 좌(left), 우(right)의 6가지 방향으로 분석하였다. 흡수되는 종양조직 및 정상조직의 방사선량(Gy)을 분석하여 종양조직 억제율

(TCP, tumor control probability)과 주위의 정상조직의 흡수선량에 대한 정상조직 합병증 발생률(NTCP, normal tissue complication probability)을 비교평가 하였다.

4. 통계 분석

본 연구에 수집된 자료는 SPSS 18.0 for windows (SPSS Inc., USA)를 사용하여 대응표본 검정법을 이용하여 분석하였으며 통계적 유의수준은 0.05 이하로 하였다.

III. 실험결과

1. 표적체적(target volume)

육안적 표적용적(GTV, gross tumor volume), 임상적 표적용적(CTV, clinical target volume) 치료계획용적(PTV, planning target volume)의 용적을 살펴보면 [표 1]과 같다. 세 가지의 용적이 모두 Body fix를 사용하였을 경우가 용적이 더 줄어들었다는 것을 알 수 있으며 특히, 방사선 치료시 처방선량의 95%이상이 입사되어야 하는 PTV의 경우 Body fix를 사용하지 않는 경우 $179.54 \pm 10.32 \text{ cm}^3$ 로 나타났으며 Body fix를 사용하였을 경우 $175.47 \pm 10.12 \text{ cm}^3$ 로 나타났으며 통계적으로 유의한 값을 나타냈다[표 1].

표 1. 표적용적분석(단위 : cm^3)

	Normal	Body fix	p
GTV	119.33 ± 2.98	117.22 ± 1.54	0.001
CTV	158.69 ± 3.55	153.24 ± 3.20	
PTV	179.54 ± 10.32	175.47 ± 10.12	

2. 표적 움직임(target variation) 평가

2.1 앞·뒤(anterior and posterior) 움직임

치료계획용적의 움직임을 6개의 방향으로 분석한 결과 앞·뒤의 방향은 앞방향으로 $0.50 \pm 0.05 \text{ mm}$ 뒤방향으로 $0.73 \pm 0.07 \text{ mm}$ 의 차이를 보였고 두 방향으로는

$1.33 \pm 0.03 \text{ mm}$ 의 움직인 변동을 보였으며 모두 Body fix를 사용한 경우가 움직임의 변동폭이 작았다[표 2].

표 2. 표적의 앞·뒤(anterior and posterior) 움직임 분석 (단위 : mm)

Normal anterior	Body fix anterior	p
2.38 ± 0.26	1.78 ± 0.21	0.001
Normal posterior	Body fix posterior	p
2.09 ± 0.24	1.36 ± 0.31	0.001
Anterior+posterior	Body fix anterior+posterior	p
4.47 ± 0.44	3.14 ± 0.41	0.001

2.2 상·하(upper and lower) 움직임

상·하의 방향은 상방향으로 $0.17 \pm 0.89 \text{ mm}$ 하방향으로 $0.72 \pm 0.04 \text{ mm}$ 의 차이를 보였고 두 방향으로는 $0.88 \pm 0.12 \text{ mm}$ 의 움직인 변동을 보였으며 모두 Body fix를 사용한 경우가 움직임의 변동폭이 작아 앞·뒤 움직임과 그 결과의 양상이 동일하였다[표 3].

표 3. 표적의 상·하(upper and lower) 움직임 분석 (단위 : mm)

Normal upper	Body fix upper	p
7.63 ± 1.28	7.47 ± 0.39	0.036
Normal lower	Body fix lower	p
8.95 ± 0.59	8.23 ± 0.63	0.028
Upper + lower	Body fix upper + lower	p
16.58 ± 1.12	15.70 ± 1.24	0.013

2.3 좌·우(left and right) 움직임

좌·우의 방향은 좌방향으로 $0.03 \pm 0.02 \text{ mm}$ 우방향으로 $0.22 \pm 0.04 \text{ mm}$ 의 차이를 보였고 두 방향으로는 $0.35 \pm 0.02 \text{ mm}$ 의 움직인 변동을 보였으며 모두 Body fix를 사용한 경우가 움직임의 변동폭이 작았지만 통계적 유의성을 확인해본 결과 모두 통계적 유의성을 확보하지 못하였다. 즉, Body fix의 사용은 종양의 좌·우방향의 움직임을 제한하지 못한 것으로 나타났다[표 4].

표 4. 표적의 좌·우(left and right) 움직임 분석 (단위 : mm)

Normal left	Body fix left	p
2.45 ± 0.35	2.46 ± 0.33	0.541
Normal right	Body fix right	p
1.20 ± 0.23	1.22 ± 0.27	0.361
left + right	Body fix left + right	p
3.66 ± 0.35	3.67 ± 0.37	0.422

3. 흡수선량 분석

3.1 종양조직의 흡수선량

종양조직에 처방선량 60 Gy의 선량을 흡수되도록 하여 치료계획을 수립한 결과 59.05 ± 0.91 Gy을 나타냈으며 Body fix를 사용한 경우 59.81 ± 0.89 Gy의 선량을 보여 Body fix의 사용이 종양조직에 더 적합한 선량이 흡수되었음을 나타냈다[표 5].

표 5. 종양조직 선량 분석(단위 : Gy)

	Normal	Body fix	p
PTV	59.05 ± 0.91	59.81 ± 0.89	0.017

3.2 정상조직의 흡수선량

정상조직의 흡수선량을 분석해본 결과 Body fix 사용유무에 따라 정상 간은 20.23 ± 4.59 Gy, 17.51 ± 2.10 Gy의 흡수량을 보였으며 이는 통계적으로 유의하지 않았다. 위(stomach)의 경우 Body fix의 사용유무에 따라 5.68 ± 0.74 Gy의 흡수선량차이를 보였다. 우측 신장과 척수도 Body fix의 사용이 정상조직의 흡수량을 줄인 것으로 관찰되었으며 이는 모두 통계적 유의성을 확보하였다[표 6].

표 6. 정상조직 선량 분석(단위 : Gy)

	Normal	Body fix	p
Normal liver	20.23 ± 4.59	17.51 ± 2.10	0.039
Stomach	16.13 ± 1.62	10.45 ± 0.88	0.001
Rt. kidney	8.83 ± 1.73	3.37 ± 0.93	0.001
Spinal cord	13.04 ± 1.80	8.17 ± 1.09	0.001

IV. 고찰

방사선 치료의 궁극적 목적은 정상조직에 흡수되는 방사선량은 최소화 하면서 동시에 종양조직의 방사선 흡수율을 높이는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 방사선치료는 2차원적 치료를 넘어 3차원치료, 세기 조절방사선 치료로 발전해왔으며 영상유도 방사선치료를 적용하여 실시간 종양추적이 가능해 졌다[9]. 박은태 등의 연구에 의하면 이러한 정확한 치료를 위해 C-rad system을 이용하여 환자 위치잡이를 평가하기도 하였다[10]. 이러한 노력과 더불어 3차원의 자세 재현성에 대한 연구가 지속되었는데 장은성의 연구[11]에 의하면 CBCT(cone beam CT)를 이용하여 환자 위치잡이를 할 경우 3차원으로 영상을 확인할 수 있어 기존의 2차원 영상에서의 자세 재현성보다 정확성이 증대되었다는 연구가 있는 등, 자세 재현성 및 종양체적의 적절한 선량분포에 관한 연구는 끊임없이 이어지고 있다. 특히, 폐, 간과 같은 복부에 위치한 장기는 환자의 호흡으로 인해 움직임을 피할 수 없다. 이러한 움직임이 나타나는 장기는 현재 4차원 모의치료영상을 통하여 호흡의 양상을 추적하여 치료에 적용이 가능하며 RPM system 이나 ABCHEs 등이 임상에서 활발히 이용되고 있다. 더욱이 많은 고정 장치가 개발되어 높은 치료 효과비를 확보하기위한 노력이 진행 중이다[12-14]. 더욱이 간암의 방사선 치료시 적절한 고정장치의 사용은 종양의 움직임을 줄일 수 있다는 연구가 있으며 이에 대한 임상에서의 연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다[6-8].

본 연구는 환자의 자세를 Supine 자세로 유지하고 Body fix를 이용하여 호흡을 조절하여 종양조직의 위치변화양상 및 체적의 변화량 그리고 종양 및 정상조직의 방사선 흡수량의 변화를 분석하였다. Body fix를 사용한 경우 GTV의 체적은 0.17% 다소 감소하였고 CTV 및 PTV의 체적 또한 각각 3.2% 감소한 것으로 나타났다. 이는 Body fix의 사용이 종양의 범위를 줄일 수 있었던 것으로 풀이 할 수 있다. 특히, 환자의 호흡에 대한 움직임의 변화를 포함하는 PTV의 체적의 3.2%의 감소는 종양조직의 선량 집중도를 추구 할 수

있을 것으로 판단된다. 이는 표적용적에 흡수되는 선량으로 분석이 될 수 있는데 현재 처방선량의 오차범위는 $\pm 5\%$ 이며 본 연구에서 분석한 선량흡수량은 Body fix의 사용유무에 따라 약 1.3%의 선량을 더 부여할 수 있는 결과를 보였다. 즉 부속장비의 작용으로 인하여 적합하지 않는 선량이 적합하게 된 점은 아니었지만 종양 조직에 적합한 흡수선량을 가져야 한다는 점에서 적절한 결과값을 보였다. 바로누운 자세에서 Body fix가 환자의 호흡을 어떠한 양상으로 압박할 수 있는지 내부 종양위치의 변화를 살펴본 결과 앞방향으로는 25.2%, 뒤방향으로는 34.9%의 운동성이 감소된 것을 알 수 있었다. 결과적으로 앞·뒤 방향으로 29.8%의 움직임의 제한 할 수 있었으며 이는 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다. 상방향과 하방향에서는 각각 2.1%, 8.04%의 운동성이 줄어들었으며 상·하 방향으로 5.31%의 움직임의 제한을 보였다. 앞, 뒤, 상, 하 방향은 모두 통계적 유의성을 확보하였으며 Body fix가 종양의 움직임을 제한하는데 도움을 주었다는 것을 알 수 있었다. 반면에 좌·우방향으로는 운동성이 0.41% 증가하였으며 우방향 또한 0.01% 증가된 점을 보였다. 좌·우방향에서는 0.27%의 움직임이 증가되어 Body fix의 적용이 종양의 움직임에 큰 영향을 끼치지 못한 것으로 나타났으며 또한 이 결과 값은 통계적으로 유의하지 않게 나타났다 ($p>0.05$). 결과적으로 Body fix의 사용은 종양의 상, 하, 앞, 뒤 방향에서 움직임 억제력을 보였지만, 좌, 우 방향에서는 움직임을 억제하지 못한 것으로 나타났다. 이는 복부를 압박할 경우 환자의 몸을 지탱하는 Whole body vaclock의 모양이 환자를 감싸고 있어서 압박의 방향 자체가 좌·우를 위주로 압박을 가하게 하지 않아 나온 결과라고 생각되며 vaclock의 모양을 달리하여 압박을 실시하는 차후의 연구가 수행하여야 할 것이라 본다. 오병천 등이 연구한 논문과 비교해 보면 상·하 방향에서의 오차는 거의 동일하였지만 좌·우의 경우 - 1.0mm 앞·뒤의 오차의 차이는 + 1.0 mm의 차이를 보였다[8]. 이는 기존의 논문의 경우 단순영상을 통하여 영상유도(IGRT)를 한 경우였으며 본 논문에서는 종양의 움직임을 관찰한 것 즉, 4차원 방사선치료(4DRT)를 토대로 분석한 것으로 그 차이는 다를 수 밖에 없다. Body fix

의 사용이 정상조직에 흡수되는 선량의 정도를 분석해보면 Normal liver의 경우 13.9%의 선량 흡수량을 줄일 수 있었으며, Stomach의 경우 35.2% 선량을 줄일 수 있었다. 또한 Rt. kidney와 Spinal cord의 경우 각각 61.8%, 37.3% 정도의 방사선량을 방어할 수 있었다. 즉 부속장비의 사용이 정상조직의 방사선 흡수량을 줄일 수 있었던 것으로 나타났다. Michael T 등의 연구에 의하면 Liver에 방사선흡수율이 높아지면 간기능 저하 및 간경변의 발생이 우려된다고 밝혔으며 심할 경우 간암의 원인이 될 수 있다고 경고 하였다. Spinal cord의 경우 척수염 및 척수괴사가 발생할 수 있으며 Kidney의 경우 기능저하 및 신우염이 발생할 수 있다고 보고 한다[13]. 본 연구에서 획득한 정상조직들(normal liver, stomach, Rt. kidney, spinal cord)의 흡수선량은 정상조직 견딤선량의 한계치를 기준으로 하였을 경우 모두 현저하게 적은 선량이었다[표 7]. 하지만 방사선은 인체에 확률적 효과의 영향을 끼칠 수 있으므로 보다 적은 방사선량이 정상조직에 입사되어야 향후 예상할 수 없는 부작용으로부터 방어할 수 있을 것이다[16-18].

표 7. 정상조직 흡수선량과 역치선량과의 비교
(단위 : % (Gy))

	Threshold dose TD5/5	Dose under normal	Dose under body fix
Normal liver	100 (30)	67.4 (20.23)	58.4 (17.51)
Stomach	100 (55)	29.3 (16.13)	19.0 (10.45)
Rt. kidney	100 (23)	38.4 (8.83)	14.7 (3.37)
Spinal cord	100 (47)	27.7 (13.04)	17.4 (8.17)

이러한 장점에도 불구하고 Body fix의 압박감에 불편함을 느끼는 환자나 압박의 정도가 일정하지만 압박을 참지 못하는 환자의 경우 적용하기 어려운 점이 있으며 이에 따라 압박의 강도에 따른 연구를 시행해야 할 것으로 사료된다. 또한 복부 내부에 배액 카테터를 장착한 환자의 경우에는 압력을 낮추어 치료를 시행하여야 할 것이며 동일한 환자의 경우에도 체중변화에 따른 체적의 변화, 음식물의 섭취유무가 복부의 체적에

영향을 줄 수 있으므로 방사선 치료기간 동안 일정한 식사 조절을 할 수 있도록 환자를 지도해야 할 것이다.

V. 결론

4차원 방사선 치료시 Body fix의 사용 유무가 종양의 체적변화, 움직임 변화, 종양 및 정상조직의 선량변화에 끼치는 정도를 연구한 결과 Body fix의 사용은 GTV, CTV, PTV의 종양 체적을 줄일 수 있었으며 움직임 또한 상·하, 앞·뒤 방향으로 움직임의 편차를 줄일 수 있었다. 이에 따라 종양조직에 1.3%의 처방선량의 흡수도가 증가되었으며 인접한 정상조직에 선량의 흡수정도를 낮게 할 수 있었다. 따라서 상복부 종양의 암치료에 의한 Body fix는 유용하게 사용 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] ICRU, International Commission on Radiation Unit and Measurements. *Report 62 : Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50)*, 1999.
- [2] P. J. Keall, G. S. Mageras, J. M. Balter, R. S. Emery, K. M. Forster, and S. B. Jiang, "The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76," *Medical Physics*, Vol.33, No.10, pp.3874-3901, 2006.
- [3] R. Wagman, E. Yorke, E. Ford, P. Giraud, G. Mageras, B. Minsky, and K. Rosenzweig, "Respiratory gating for liver tumors: use in dose escalation," *Int J Radiat Oncol Bio Phys*, Vol.55, No.3, pp.659-668, 2003.
- [4] T. Kron, G. Grigorov, E. Yu, S. Yartsev, J. Z. Chen, E. Wong, G. Rodrigues, K. Trenka, T. Coad, G. Bauman, and J. Van Dyk, "Planning evaluation of radiotherapy for complex lung cancer cases using helical tomotherapy," *Phys Med Biol*, Vol.49, No.16, pp.3675-3690, 2004.
- [5] Y. Ishihara, A. Sawada, Y. Miyabe, N. Mukumoto, M. Nakamura, N. Ueki, Y. Matsuo, T. Mizowaki, M. Kokubo, and M. Hiraoka, "Four-dimensional Monte Carlo Dose Calculation Method for Dynamic Tumor Tracking Irradiation With a Gimbaled X-ray Head," *Journal of Radiation Oncology*, Vol.84, No.3, pp.S853-S854, 2012,
- [6] Y. J. Cho, S. J. Byun, and Y. J. Kim, "Comparison with ABCHESS and Abdomen Compression Device in Respirational Radiation Therapy on Patients in Hepatocellular Carcinoma," *Journal of Korean Society of Radiology*, Vol.6, No.5, pp.395-402, 2012.
- [7] A. M. Berson, R. Emery, L. Rodriguez, M. S. Gregory, M. Richards, Tracy Ng, Seema Sanghavi, and J. Barsa, "Clinical experience using respiratory gated radiation therapy: Comparison of free-breathing and breath-hold techniques," *Journal of Radiation Oncology*, Vol.60, No.2, pp.419-426, 2004.
- [8] B. C. Oh, T. G. Choi, and G. C. Kim, "Evaluation on Usefulness of Applying Body-fix to Liver Cancer Patient in Tomotherapy," *The Journal Of The Korean society for radiotherapeutic Technology*, Vol.22, No.1, 2010.
- [9] W. De Neve, F. Van den Heuvel, M. De Beukeleer, M. Coghe, L. Thon, P. De Roover, M. Van Lancker, and G. Storme, "Routine clinical on-line portal imaging followed by immediate field adjustment using a tele-controlled patient couch," Vol.24, No.1, pp.45-54, 1992.
- [10] 박은태, 고성진, 최석운, 김정훈, 김창수, 김동현,

강세식, “방사선치료 시 C-Rad system을 이용한 셋업의 평가”, 한국콘텐츠학회논문지, Vol.12, No.5, pp.303-310, 2012.

[11] 장은성, “인체 팬텀(Rando Phantom)을 이용한 CBCT의 Setup 유용성 평가”, 한국콘텐츠학회논문지, Vol.11, No.7, pp.234-238, 2011.

[12] E. D. Brandner, A. Wu, H. C. Chen, Dwight Heron, Shalom Kalnicki, Krishna Komanduri, Kristina Gerszten, S. Burton, Irfan Ahmed, and Z. Y. Shou, “Abdominal organ motion measured using 4D CT,” Int J Radiat Oncol Bio Phys, Vol.65, No.2, pp.554-560, 2006.

[13] L. A Dawson, K. K Brock, S. Kazanjian, Dwight Fitch, Cornelius J McGinn, Theodore S Lawrence, Randall K Ten Haken, and J. Balter, “The reproducibility of organ position using Active Breathing Control(ABC) during liver radiotherapy,” Int J Radiat Oncol Bio Phys Vol.51, No.5, pp.1410-1421, 2001.

[14] J. M. Moran, J. M. Balter, Merav A. Ben-David, R. B. Marsh, M. Van Herk, and L. J. Pierce, “Short-Term Displacement and Reproducibility of the Breast and Nodal Targets Under Active Breathing Control,” Int J Radiat Oncol Bio Phys, Vol.68, No.2, pp.541-546, 2007.

[15] M. T. Milano, L. S. Constine, P. Okunieff, “Normal Tissue Tolerance Dose Metrics for Radiation Therapy of Major Organs,” Semin Radiat Oncol, Vol.17, pp.131-140, 2007.

[16] K. H. Do, “The health effects of low dose exposure,” J Korean Med Assoc, Vol.54, No.12, pp.1253-1281, 2011.

[17] National Research Council, *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII phase 2*, Washington DC: National Academies Press; 2006.

[18] Korea Food & Drug Administration, *Technical report for pediatric radiography: radiation*

safety series no.22 Seoul: Korea Food & Drug Administration, 2010.

저 자 소 개

김 영 재(Young-Jae Kim)

정회원



- 2007년 8월 : 광주보건대학교 방사선학과(보건학사)
- 2011년 2월 : 동신대학교 방사선물리학과(이학석사)
- 2013년 2월 : 동신대학교 보건의료학과 방사선학전공(이학박사)

수료)

- 2007년 ~ 2008년 : 연세암센터 방사선종양학과
 - 2008년 ~ 2011년 : 서울성모병원 방사선종양학과
 - 2011년 ~ 현재 : 광양보건대학교 방사선과 교수
- <관심분야> : 방사선치료물리학, 종양생물학, 선량계 측정

장 영 일(Young-Ill Jang)

정회원



- 1981년 2월 : 광주보건대학교 방사선학과(보건학사)
- 2003년 8월 : 순천대학교 컴퓨터과학과(이학박사)
- 1998년 ~ 현재 : 광양보건대학교 방사선과 교수

<관심분야> : 방사선 투시조영학, 의료영상기학

지 연 상(Yeon-Sang Ji)

정회원



- 1999년 8월 : 조선대학교 전자계산학과(이학석사)
- 2001년 8월 : 조선대학교 전자계산학과(이학박사)
- 1985년 ~ 1994년 2월 : 조선대학교 부속병원 영상의학과

- 1994년 ~ 현재 : 광주보건대학교 방사선학과 교수
- <관심분야> : 방사선종양학, 방사선생물학, PACS

한 재 복(Jae-Bok Han)

정회원



- 2001년 2월 : 호남대학교 컴퓨터 공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2007년 ~ 2011년 : 전남대학교 전자공학과(공학박사)
- 2009년 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수
<관심분야> : 객체분할, 자기공명영상학, 선량계측

최 남 길(Nam-Gil Choi)

정회원



- 1989년 8월 : 조선대학교대학원 화공식품전공(공학석사)
- 2009년8월 : 동신대학교대학원 방사선물리학과(이학박사)
- 1980년 ~ 2010년 : 전남대학교 병원 영상의학과
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수
<관심분야> : 보건통계학, 방사선 물리학

장 성 주(Seong-Joo Jang)

정회원



- 1981년 2월 : 전남대학교 물리학과(이학사)
- 1988년 2월 : 전남대학교 대학원 물리학과(이학석사, 이학박사)
- 1998년 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수
<관심분야> : 방사선 계측학, 방사선 물리학