

# ViewRay MRIdian System을 이용한 MRI only based plan의 유용성 고찰

서울대학교병원 방사선종양학과

전창우 · 이호진 · 안범석 · 김찬용 · 이제희

**목적** : MRI를 기반으로 한 CT fusion plan과 MRI only based plan을 비교함으로써 MRI only plan의 유용성을 평가하고, 나아가 Simulation과 치료계획을 포함한 방사선치료의 전 과정을 CT 촬영 없이 MRI 영상으로 구성하여 실시간 MR-IGRT를 구현하고자 한다.

**대상 및 방법** : 본원에서 사용중인 BBB CT (Brilliance Big Bore CT, 16slice, Philips)와 ViewRay MRIdian System (ViewRay, USA)으로 환자 11명 (Head and Neck 1명, Breast 5명, Lung 1명, Liver 3명, Prostate 1명)을 대상으로 CT & MR simulation 및 치료계획을 세웠다.

Head and Neck, Breast, Prostate환자는 자유호흡(Free Breathing) 상태로, Lung과 Liver 환자는 흡기 호흡중지(Inhalation Breathing Holding)상태로 Simulation을 진행하였다. ViewRay의 Bore 크기 및 Coil 위치를 고려하여 환자 자세 및 고정기구를 동일한 조건을 유지하여 CT simulation을 시행하였다.

ViewRay MRIdian 시스템을 이용하여 MR 영상을 기반으로 한 CT fusion plan과 CT fusion 없이 [ICRU 46]에서 권고하는 폐, 공기, 뼈의 전자밀도를 입력한 동일한 조건의 MR only plan을 세웠다. Head and Neck, Breast, Prostate는 IMRT, Lung과 Liver 는 Gating치료계획을 세웠고, 치료계획의 평가는 PTV의 균질성 지표 (Homogeneity Index, HI)와 일치성 지표 (Conformity Index, CI), 그리고 각 PTV와 OAR의 DVH와 선량차이를 각각 비교하였다.

**결과** : 두 치료계획간 치료부위별 PTV에 대한 HI 값의 차이는 Head and Neck, Breast, Lung, Liver, Prostate 부위별로 각각 0.089, 0.26, 0.67, 0.2, 0.4%로 나타났으며, CI 값의 차이는 부위별로 각각 0.043, 0.84, 0.68, 0.46, 0.3%로 두가지 평가 값 모두 Head and Neck 부위가 가장 작은 차이를 나타냈다. PTV에 대한 평균선량 차이는 치료부위별로 각각 0.07, 0.29, 0.18, 0.3, 0.18 Gy로 나타났다. 이를 백분율로 나타냈을 때 0.06, 0.7, 0.29, 0.69, 0.44%으로 모두 1% 이하의 차이를 보였다.

두경부암의 각 OAR은 전체적으로 0.01~0.12 Gy의 평균선량 차이를 보였으며, 유방암은 0.04~0.06 Gy, 폐암에서는 0.01~0.21 Gy, 간암은 0.06~0.27 Gy, 전립선암은 0.02~0.23 Gy의 평균선량 차이를 나타냈다.

**결론** : MR 영상을 이용한 치료계획은 연부조직에서 탁월한 대조도를 나타낼 뿐만 아니라 CT fusion한 MR 치료계획과 비교했을 때 PTV의 HI, CI, 선량차이 모두 1%미만의 차이를 보였으며, OAR의 경우 비균질한 조직이 많은 부위일수록 최대 0.89 Gy 선량차이를 보였다. 이결과를 토대로 두경부암, 부분적 유방암이나 전립선암등 비균질도 차이가 적은 부위에는 CT촬영 없이 MR 영상만을 이용한 방사선치료의 가능성을 확인 할 수 있었다.

**핵심용어** : MRI only based plan, 실시간 MR-IGRT

## 서론

현재 방사선 치료분야는 첨단 방사선 치료기기들이 개발되고 도입되어 급속도로 발전하고 있다. 나아가 simulation 및 치료계획 그리고 치료중 환자 자세확인 등 통합적인 방

사선 치료 과정에서 치료의 정확도를 높이고 정상조직에 최소한의 방사선을 주기 위한 다각도의 연구가 진행되고 임상에 적용되고 있다. 특히 영상유도 방사선치료 (Imaging Guided Radiation Therapy, IGRT)와 정위적 방사선치료 (Stereotatic Ablative Radiotherapy, SABR)가 방사선치료분야를 선도해 가고 있으며, 이와 함께 추가적인 방사선 피폭 가능성이 전혀 없는 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)을 이용한 방사선치료에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 최근 본원에서도 3개의 <sup>60</sup>Co선원과 0.35T MRI

책임저자 : 전창우, 서울대학교병원 방사선종양학과  
서울시 중로구 연건동 28번지  
Tel : 02)2072-4953  
E-mail : koreawoo1014@naver.com

가 결합된 ViewRay 장비를 도입하여 영상유도 방사선치료 (Image Guided Radiation Therapy, IGRT)를 시행하고 있다.

ViewRay MRIdian System은 MRI를 이용하여 실시간으로 표적(Target)과 결정장기(Organ at risk, OAR)의 움직임에 대한 직접적인 추적이 가능하다. 따라서 내부표적부피 (Internal Target Volume, ITV)를 크게 줄일 수 있고, 인접한 OAR의 선량 저감 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라<sup>2)</sup> 영상획득을 위한 방사선피폭을 최소화시킬 수 있어 방사선 민감성이 높은 환자에게 큰 장점으로 작용한다. 콘빔 전산화 단층촬영(Cone-Beam Computed Tomography, CBCT)이나 보정치료(Adaptive Radiation Therapy, ART)를 위한 반복적인 CT 촬영은 치료의 정확성을 향상시키지만,<sup>3,6)</sup> 치료부위 주변의 OAR에 적지않은 선량을 전달한다. 35회의 방사선치료를 받는 환자에게 매일 CBCT 촬영 시 치료부위 주변의 OAR과 인체에 각각 1.5~2 Gy, 600~800 mSv의 유효선량이 피폭되어 추가적인 이차성 암 유발위험도가 3~4% 증가한다고 보고된 바 있다.<sup>7)</sup> 또한 ViewRay MRIdian System은 MRI의 최대 장점인 연부조직의 대조도가 우수하여 표적이나 OAR의 정확한 윤곽그리기가 가능하며, CT영상 없이도 MR 영상 단독의 치료계획이 가능하다.<sup>8)</sup> 그 밖에도 전 치료과정에서 표적의 모양이나 크기의 변화, 움직임 등을 실시간으로 확인할 수 있으며, 필요시 치료계획의 재

수립이 가능하다.

그러나 MRI를 이용한 치료계획에도 제한점은 있다. CT 영상을 이용한 치료계획은 전자밀도를 이용하여 정확한 선량계산이 가능한 반면 MR 영상만을 이용한 치료계획 (MRI only based plan)을 수립하는 경우 영상 확인의 정확도는 향상시킬 수 있으나 전자밀도가 없어 선량계산의 신뢰도가 떨어진다. 이런 이유로 현재 본원에서는 MR 영상을 기반으로 CT 영상을 fusion한 치료계획 (CT fusion plan)을 세우고 있으나, Viewray system에서 CT fusion plan과 MRI only based plan을 비교했을 때 두 치료계획이 임상적으로 적용 가능한 범주 내에서 유의하지 않는 차이를 보인다면 MRI only based plan을 임상에 적용할 수 있고 추가적인 방사선 피폭이 없는 실시간 MR-IGRT구현이 가능할 것으로 판단하였다.

이에 본 논문에서는 MR 영상을 기반으로 CT 영상을 fusion한 치료계획 (CT fusion plan)과 MR 영상만을 이용한 치료계획 (MRI only based plan)을 비교함으로써 Viewray system을 이용한 MRI only based plan의 유용성을 평가하고자 한다.

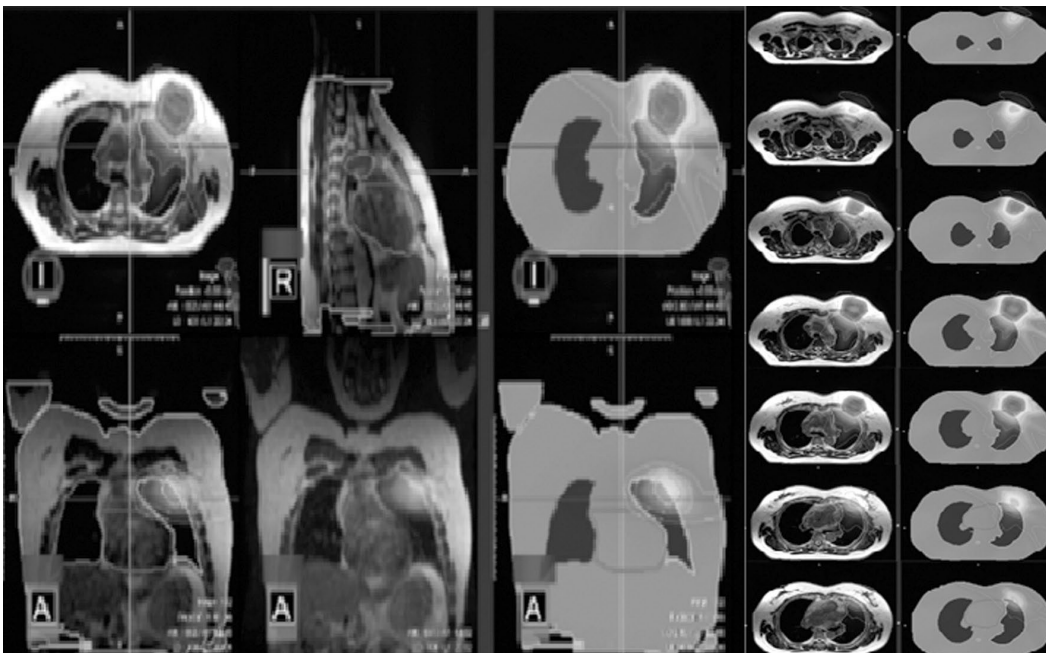


Fig 1. Comparison of MRI plan included CT fusion or not

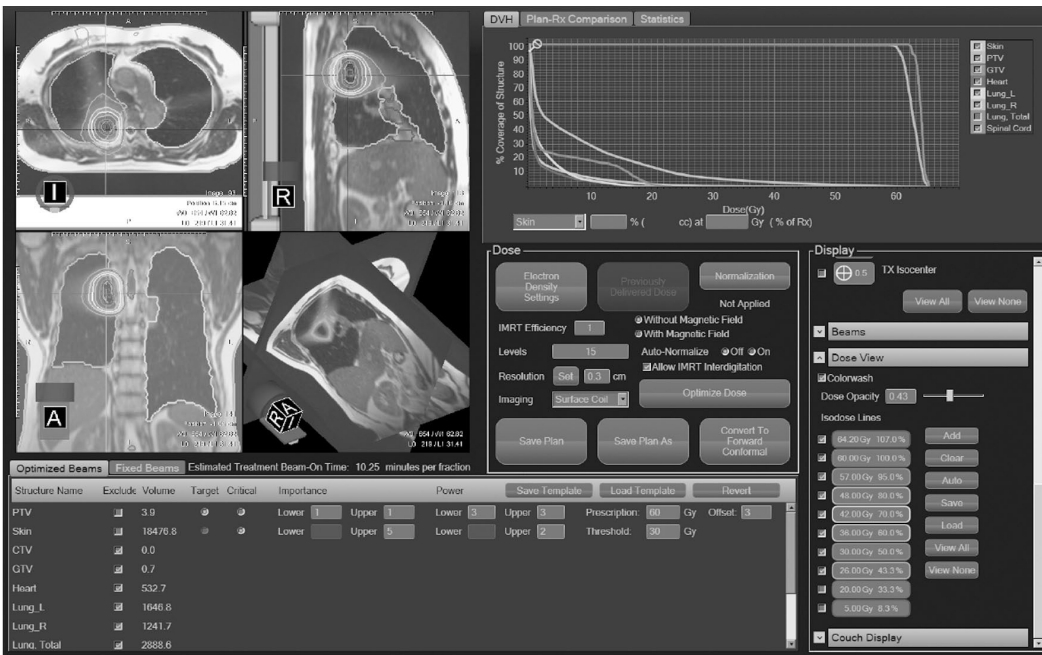


Fig 2. SBR planning for Lung

## 대상 및 방법

본 논문에서는 두경부암 환자 1명, 유방암 환자 5명, 폐암 환자 1명, 간암 환자 3명, 전립선암 환자 1명 총 11명의 환자를 대상으로 연구를 진행하였으며, 유방암 환자의 경우 림프절 전이가 없고 종양 크기가 2cm 미만, 호르몬 수용체와 HER-2가 음성인 침윤성 유관암 환자를 대상으로 선정하였다. 현재 본원에서 사용중인 CT simulator (Brilliance Big Bore CT, 16slice, Philips)와 ViewRay MRIdian System (Viewray, USA)을 이용하여 CT & MRI simulation을 진행하였다.

### Simulation

두경부암, 유방암, 전립선암 환자는 자유호흡(Free Breathing)으로, 폐암, 간암 환자는 흡기 호흡중지(Inhalation Breath Holding) 상태로 simulation을 진행하였다. CT simulator와 viewray의 bore size 차이, 그리고 head & body coil의 사용을 고려하여 CT simulation시에도 MR dummy coil을 사용하여 환자 위치를 결정하였고, viewray에서도 호환 가능한 고정기구를 제작하여 동일조건으로 simulation을 시행하였다.

호흡에 기인한 움직임이 많은 폐암, 간암 환자는 Full Inhalation Breath Holding 상태로 simulation을 진행하였으나 방사선치료 시 호흡유지의 어려움이 있어 Middle Inhalation Breath Holding으로 변경하여 simulation을 하였고 방사선치료 전 호흡유지에 대한 사전 교육을 시행하였다.

### Treatment Planning

CT fusion plan과 MRI only based plan을 비교하기 위하여 CT fusion plan을 먼저 수립한 후, CT fusion 영상을 제거하고 CT 영상 대신에 ICRU 46에서 권고하는 전자밀도(폐-0.26 g/cm<sup>3</sup>, 공기-0.001 g/m<sup>3</sup>, 뼈-1.12 g/m<sup>3</sup>)를 MR 영상에 입력한 MRI only based plan을 수립하였다. 모든 plan data 및 beam parameter는 두 가지 치료계획에 동일하게 적용하여 분석하였다.

두경부암의 경우 모든 부위에 전자밀도 1 g/m<sup>3</sup>를 전체 값으로 부여하였고, 유방암, 폐암, 간암 환자는 폐에 0.26 g/m<sup>3</sup>, 기타부위는 1 g/m<sup>3</sup>를 적용하였다. 전립선암환자는 hard born인 대퇴부 뼈에 1.12 g/m<sup>3</sup>, 그 외 모두 1 g/m<sup>3</sup>로 지정하여 치료계획을 수립하였다(Figure 1). 두경부암, 유방암, 전립선암은 IMRT 치료계획을 적용하였고 폐암과 간

암환자는 SABR 치료계획을 적용해 분석하였다(Figure 2).

## 결 과

### Plan Evaluation and Comparison

치료계획의 평가를 위하여 PTV의 균질성 지표 (Homogeneity Index, HI) [식 1]와 일치성 지표 (Conformity Index, CI) [식 2]를 비교하였고, 치료부위별로 PTV와 각 OAR의 DVH 및 선량차이를 비교하였다. 각 치료 계획은 치료환자의 임상적용 가능여부 확인을 위하여 Patient specific verification QA(Gamma test)를 실시하였고, QA는 Viewray 시스템 전용 팬텀을 이용하였다.

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \quad \text{[식 1]}$$

D5% : Target 용적의 5%가 받는선량

D95% : Target 용적의 95%가 받는선량

$$CI = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}} \quad \text{[식 2]}$$

V95% : 처방선량의 95%이상인 조사되는 체적

VPTV : PTV의 체적

QA (Gamma test) 결과 모든 치료계획이 3 mm/ 3%, 90%이상으로 확인되었다.

두 치료계획간 치료부위별 PTV에 대한 HI 값의 차이는 두경부, 유방, 폐, 간, 전립선 부위별로 각각 0.089, 0.26, 0.67, 0.2, 0.4%로 나타났으며, CI 값의 차이는 부위별로 각각 0.043, 0.84, 0.68, 0.46, 0.3%로 두가지 평가 값 모두 두경부에서 가장 작은 차이를 나타냈다(Table 1).

PTV에 대한 평균선량 차이는 치료부위별로 각각 0.07, 0.29, 0.18, 0.3, 0.18 Gy로 나타났다. PTV의 선량백분율 차이는 모두 1% 이하였으며 유방 0.7%, 폐 0.29%, 간 0.69%, 전립선 0.44%, 두경부의 경우 평균선량차이가 0.06%로 가장 낮게 나타났다(Table 2).

두경부암의 각 OAR은 전체적으로 0.01~0.12 Gy의 평균 선량 차이를 보였으며, 유방암은 0.04~0.06 Gy, 폐암에서는 0.01~0.21 Gy, 간암은 0.06~0.27 Gy, 전립선암은 0.02~0.23 Gy의 평균선량 차이를 나타냈다(Table 2).

두경부암 환자에서 brain stem과 spinal cord는 최대선량을 parotid gland는 평균선량 차이를 비교하였을 때 각 0.02, 0.24, 0.06 Gy차이를 보였고 폐암환자의 경우 심장은

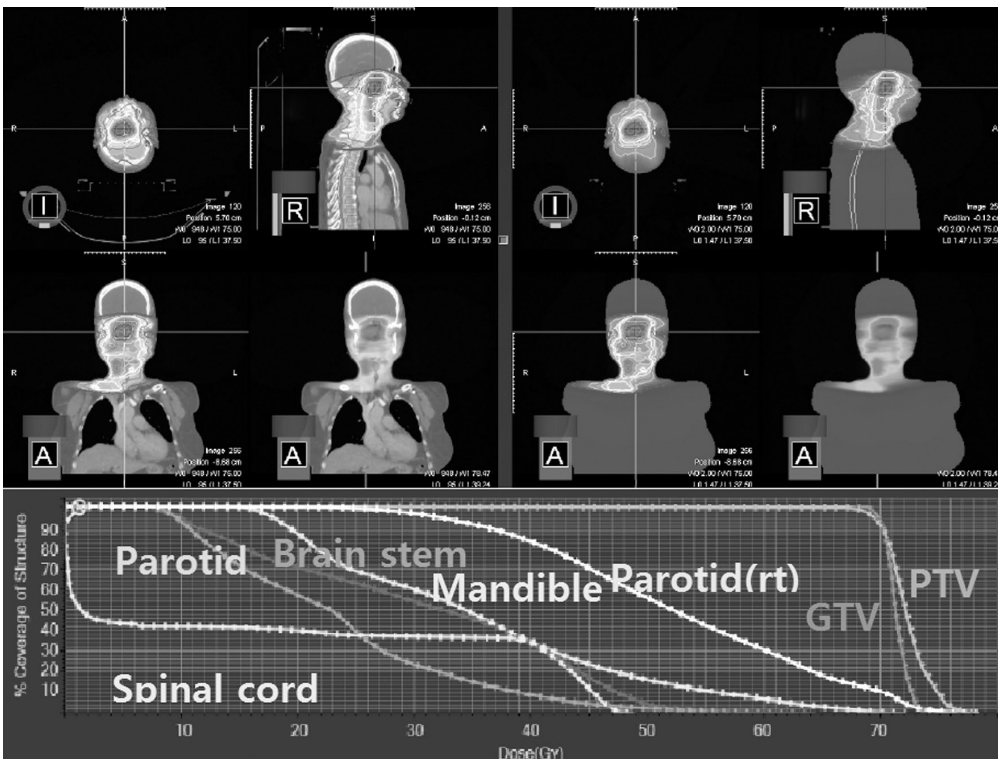


Fig 3. Comparison of Head and Neck

Table 1, Comparison of HI and CI

PTV	HI			CI		
	*MRfusion	*MRonly	*d(%)	MRfusion	MRonly	*d(%)
H&N(1)	1.089	1.090	-0.089	0.882	0.882	-0.043
Breast (1)	1.121	1.125	-0.400	1.115	1.112	0.352
Breast (2)	1.127	1.132	-0.381	1.160	1.126	2.926
Breast (3)	1.127	1.132	-0.381	1.096	1.079	1.526
Breast (4)	1.138	1.140	-0.232	1.093	1.107	-1.211
Breast (5)	1.131	1.130	0.087	1.108	1.101	0.623
Average	1.129	1.132	-0.262	1.114	1.105	0.843
*SD	0.006	0.005	0.206	0.027	0.017	1.526
Lung(1)	1.090	1.082	0.673	1.018	1.025	-0.684
Liver(1)	1.092	1.097	-0.498	1.125	1.127	-0.192
Liver(2)	1.169	1.172	-0.297	1.042	1.046	-0.433
Liver(3)	1.039	1.032	0.646	1.011	1.016	-0.461
Average	1.100	1.101	-0.066	1.059	1.063	-0.362
SD	0.065	0.070	0.611	0.059	0.057	0.148
prostate(1)	1.137	1.143	-0.477	1.146	1.150	-0.308

\*d(%)=The percentage differences

\*SD=Standard deviation

\*MRfusion : CT fusion plan

\*MRonly : MRI only based plan

선량차이가 없었고, 왼쪽과 오른쪽의 lung에서  $V_{20Gy}$ 는 0.02%, 0.14% 체적 차이를 보였으며, spinal cord는 최대선량이 0.78Gy차이가 났다. 전립선환자의 경우 방광에서  $V_{65Gy}$ 를 직장에서  $V_{50Gy}$ 의 차이를 비교하였을 때 각각 체적이 0.01%, 0.63% 차이가 났다(Table 3).

## 고찰

두경부암은 다른 부위와 비교하여 PTV와 OAR의 모든 평가 인자들의 차이가 1%미만으로 두 치료계획이 가장 일치함을 보였다(Figure 3). 이는 두경부의 불균질도 차이가 크지 않기 때문인 것으로 판단되며 전립선암과 간암에서도 같은 양상을 나타냈다(Table 1, 2, 6). 전립선암은 치료과정에서 Bladder Filling을 시행하므로 대퇴부 뼈를 제외한 다른 부위의 전자밀도가 큰 차이를 보이지 않았으며 특히 ViewRay System에서는 전립선을 포함한 방광의 체적 평가와 직장의 유용성 추적 및 평가가 용이하기 때문에 실시간

MR-IGRT에 적합하다(Figure 4). 또한 간암의 경우 CT 영상에서는 조영제 없이 병변을 구분하기 어려운 반면 MR 영상은 연부조직에 대한 대조도가 뛰어나기 때문에 정확한 Target 정의가 가능하여 MR을 이용한 방사선치료에 적합한 부위라고 사료된다(Figure 5).

유방암은 폐와 연부조직의 불균질성 차이가 크에도 불구하고 두 치료계획이 상당히 일치하였는데(Table 4), 치료계획 시 방사선의 대부분이 측방향으로 입사하고 폐를 투과하는 방사선이 적기 때문에 폐의 전자밀도에 영향을 덜 받는 것으로 분석된다(Figure 6). 특히 유방암의 PTV는 연부조직이기 때문에 CT영상에 비해 MR 영상에서 대조도가 월등히 좋으므로 정확한 윤곽그리기가 용이하다. 본 논문에서와 같은 조건의 유방암 환자의 경우에는 CT영상 없이 MRI only based plan으로 치료계획을 수립하고 방사선 치료를 진행할 수 있는 가능성을 확인하였다.

폐암에서 폐의 실질조직을 정밀히 그린 것과 폐에만 윤곽 그리기한 치료 계획을 비교했을 때 PTV의 경우 HI 값의 차이는 0.67%, 2.65%로 CI는 0.68%, 4.11%로 차이를 보였다

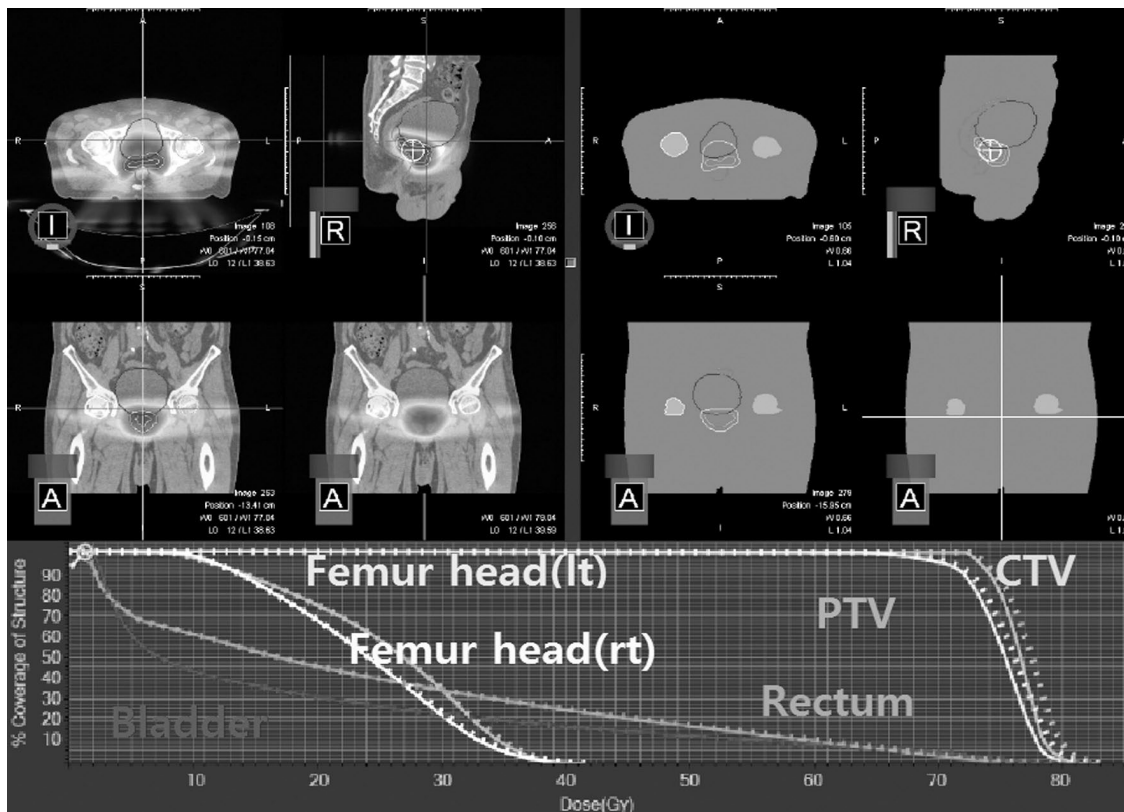


Fig 4. Comparison of Prostate

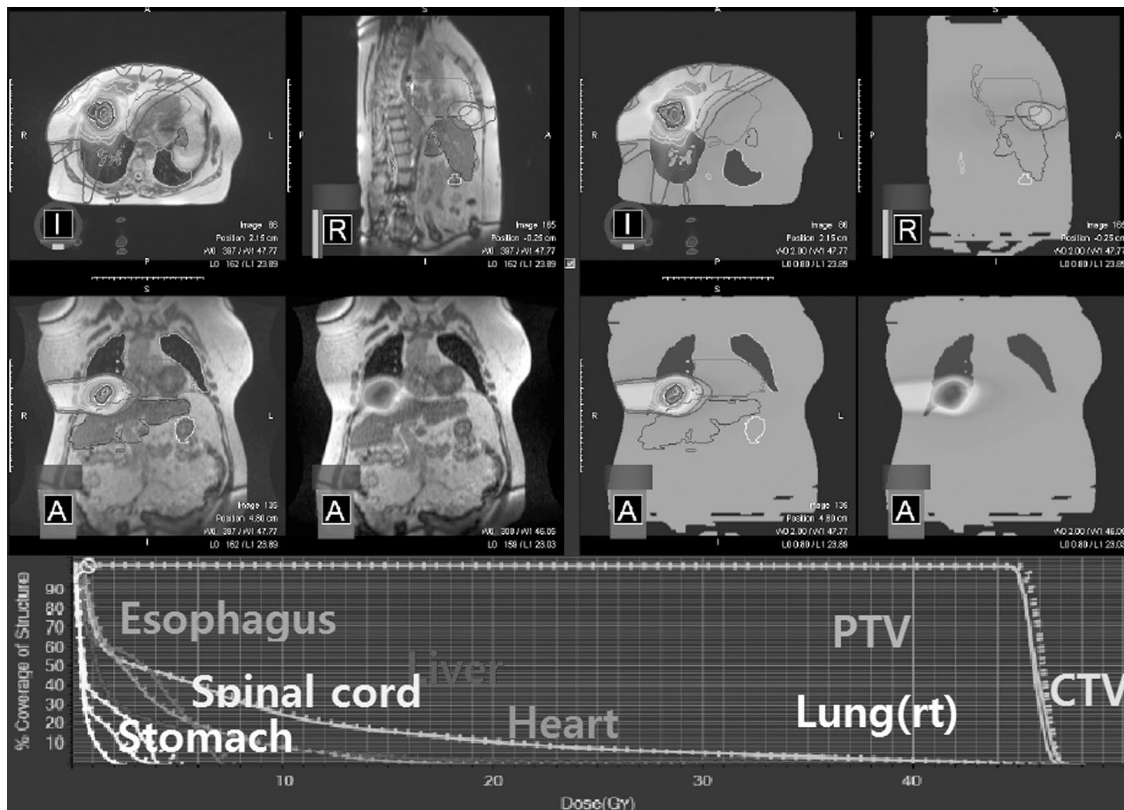


Fig 5. Comparison of Liver

Table 2, Statistical results of the dose analysis

Group (# of patients)	Volume	Dmean		Dmin		Dmax	
		*Ddiff(Gy)	*d(%)	*Ddiff(Gy)	*d(%)	*Ddiff(Gy)	*d(%)
H&N(1)	PTV	-0.07	-0.10	-0.06	-0.09	0.14	0.18
	Brainstem	-0.05	-0.16	-0.02	-0.28	0.02	0.03
	Eyeball_Lt	0.02	0.27	0.02	0.79	0.13	0.68
	Eyeball_Rt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ear_Lt	-0.08	-0.25	-0.05	-0.20	-0.22	-0.51
	ear_Rt	-0.12	-0.25	-0.05	-0.13	-0.04	-0.07
	Parotid_Lt	-0.02	-0.09	-0.06	-0.80	0.13	0.20
	Parotid_Rt	-0.06	-0.17	0.01	0.07	-0.14	-0.19
	Spinalcord	-0.01	-0.06	0.00	0.00	-0.24	-0.44
Breast(5)	PTV	0.29±0.22	0.70±0.54	0.51±0.18	1.49±0.53	0.33±0.14	0.75±0.32
	Heart	0.04±0.01	1.13±0.66	0.03±0.01	11.18±4.4	0.17±0.17	1.13±1.27
	Spinalcord	0.04±0.05	2.35±2.80	0.01±0.01	4.51±7.26	0.15±0.21	2.66±3.62
	Lung_L	0.06±0.06	1.40±0.98	0.02±0.01	8.89±6.33	0.39±0.2	2.74±2.31
	Lung_R	0.04±0.03	0.85±0.68	0.02±0.01	11.38±7.62	0.17±0.09	1.34±1.10
Lung(1)	PTV	0.18	0.29	0.40	0.68	0.69	1.04
	Heart	-0.03	-0.75	0.00	0.00	-0.78	-3.33
	Spinalcord	0.00	0.00	-0.01	-14.29	-0.18	-0.77
	Lung_L	0.04	0.48	0.00	0.00	-0.21	-0.33
	Lung_R	0.21	4.17	-0.01	-14.29	2.90	4.39
	Lung_total	0.00	0.00	0.01	5.00	-0.10	-0.46
Liver(3)	PTV	0.30±0.28	0.69±0.66	0.22±0.12	0.58±0.35	0.70±0.95	1.57±2.10
	Lung_L	0.22±0.33	5.95±5.63	0.08±0.11	20.98±11.73	0.38±0.23	5.23±6.42
	Lung_R	0.27±0.38	1.95±2.27	0.08±0.12	17.16±15.05	0.89±0.52	2.99±0.94
	Spinalcord	0.20±0.27	3.96±3.88	0.01±0.01	13.89±17.35	0.65±0.54	10.31±14.11
	Liver	0.15±0.21	0.91±0.58	0.03±0.03	15.33±12.51	1.01±0.74	2.24±1.64
	Heart	0.06±0.08	1.57±2.23	0.05±0.01	16.07±2.99	0.34±0.19	1.40±0.32
	Stomach	0.10±0.12	2.35±1.29	0.02±0.02	4.23±2.73	0.18±0.20	1.10±0.67
	Esophagus	0.06±0.04	1.70±1.57	0.02±0.01	2.19±0.19	0.41±0.54	5.52±7.56
Prostate(1)	PTV	0.18	0.44	0.26	0.79	-0.12	-0.27
	Bladder	0.23	1.17	-0.09	-2.22	0.26	0.62
	Rectum	0.11	0.73	-0.05	-1.82	0.20	0.49
	Femur_L	0.04	0.55	0.01	1.12	0.06	0.41
	Femur_R	-0.02	-0.27	0.01	1.20	0.21	1.33

\*Ddiff(Gy) : MRfusion - MRonly, mean value ± standard deviation

\*d(%) : The percentage differences of dose

(Table 5). 폐의 윤곽그리기에 따라 MR only based plan의 결과가 달라졌으며, 실제로 폐의 모든 조직이 균질하지 않기 때문에 윤곽그리기에 따라 PTV 선량변화에 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있었다(Figure 7).

폐암은 앞에서 기술한 부위들과는 다른 양상을 확인할 수

있었는데, 이는 다양한 불균질부가 존재하는 흉부의 해부학적 특성상 필연적인 결과라 할 수 있다. 이와 같은 이유로 방사선의 입사 방향과 표적의 위치에 따라 치료 계획간 선량 차이가 달라 질 수 있고 (Figure 8), 따라서 폐와 같이 불균질부가 많이 포함된 부위에서는 CT fusion plan에 비해

Table 3. OAR dose analysis

	OAR	Dose/Volume	MRfusion	MRonly	*Ddiff
H&N	Brain stem	Dmax(Gy)	57.46	57.44	0.02
	Parotid (Lt)	Dmean	23.34	23.36	-0.02
	Parotid (Rt)	Dmean	35.44	35.50	-0.06
	Spinal cord	Dmax	54.72	54.96	-0.24
Lung	Heart	Dmean(Gy)	1.74	1.74	0.00
	Spinal cord	Dmax	23.44	24.22	-0.78
	Lung_L	V20(%)	0.06	0.04	0.02
	Lung_R	V20	14.04	14.18	-0.14
	Lung_total	V20	6.43	6.12	0.31
Prostate	Bladder	V65(%)	7.21	7.22	-0.01
	Rectum	V50	6.95	7.70	-0.75

\*Ddiff : MRfusion - MRonly

\*MRfusion : CT fusion plan

\*MRonly : MRI only based plan

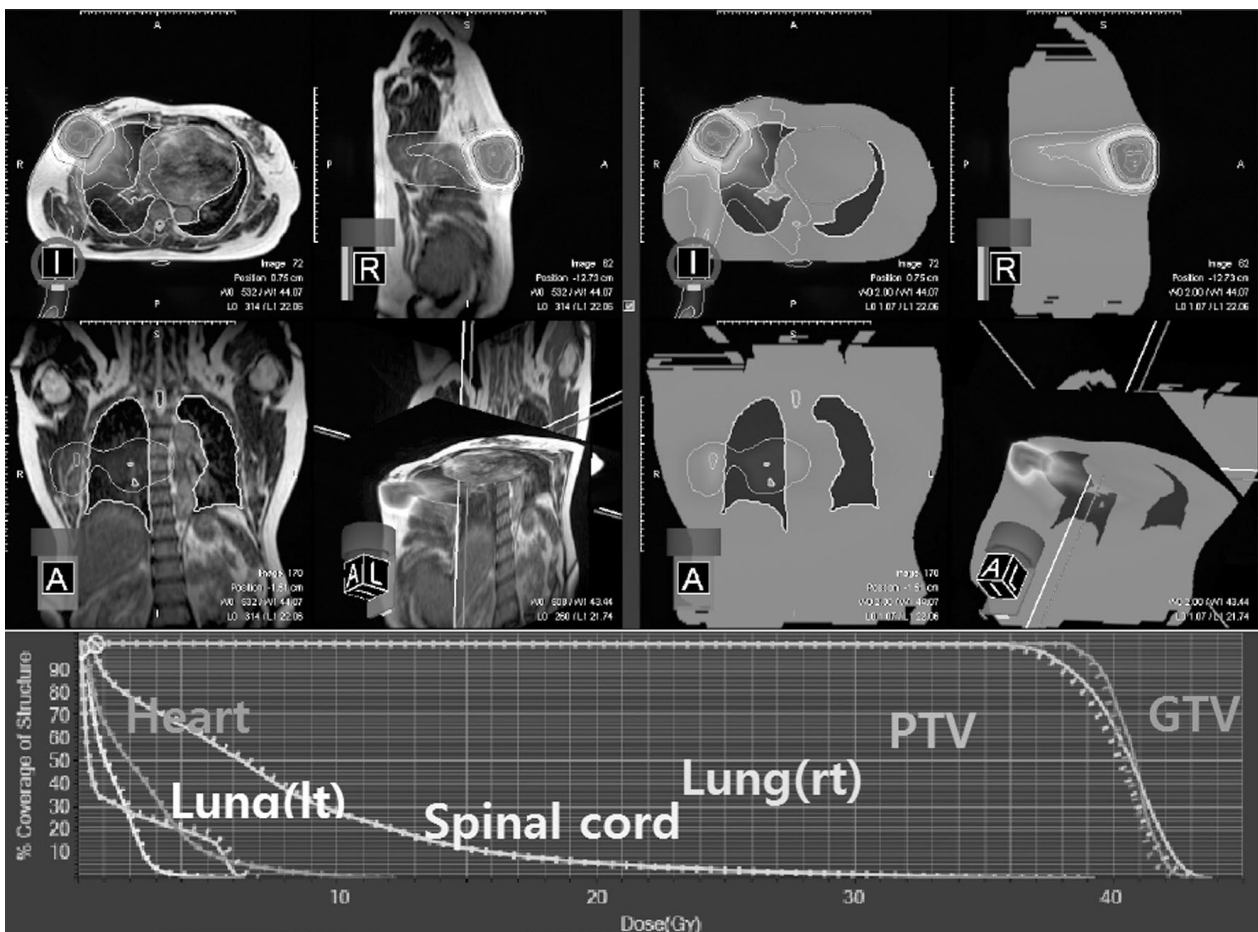


Fig 6. Comparison of Breast



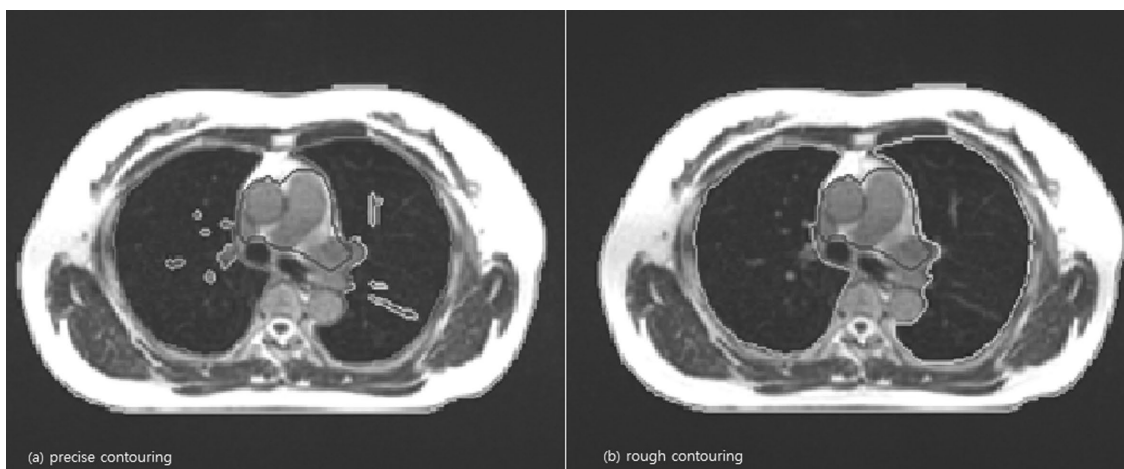


Fig 7. Comparison of Lung contouring

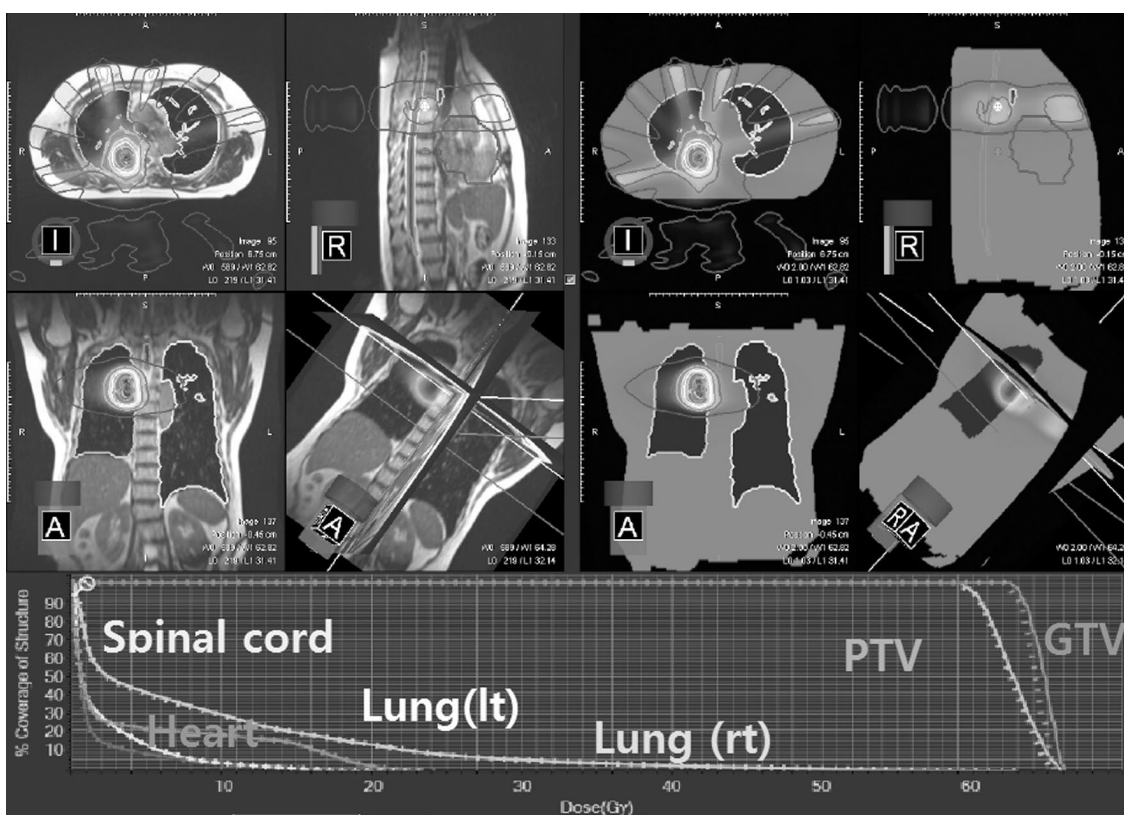


Fig 8. Comparison of Lung

정확한 윤곽그리기와 전자밀도 대입이 불가할 것으로 판단되며 반드시 CT simulation과 image fusion이 필요할 것으로 사료된다.

## 결론

CT number값을 이용하여 수행하는 현재의 선량계산 알고리즘은 과거에서부터 현재까지 정확한 선량구현을 목표로 꾸준히 검증되고 발전하고 있으며, 또한 MR 영상을 치

**Table 4.** OAR dose analysis of Breast

Breast	OAR	Dose/Volume	MRfusion	MRonly	*Ddiff
Breast1	Heart	Dmean(Gy)	1.04	1.03	0.01
	Spinal cord	Dmax	4.77	4.74	0.03
	Lung_L	V20 (%)	4.18	4.06	0.12
	Lung_R	V20	0.00	0.00	0.00
Breast2	Heart	Dmean(Gy)	1.42	1.43	-0.01
	Spinal cord	Dmax	10.81	10.86	-0.05
	Lung_L	V20 (%)	0.00	0.00	0.00
	Lung_R	V20	8.25	8.08	0.17
Breast3	Heart	Dmean(Gy)	1.85	1.84	0.01
	Spinal cord	Dmax	4.29	4.54	-0.25
	Lung_L	V20 (%)	5.88	5.93	-0.05
	Lung_R	V20	0.00	0.00	0.00
Breast4	Heart	Dmean(Gy)	2.50	2.53	-0.03
	Spinal cord	Dmax	6.42	6.94	-0.52
	Lung_L	V20 (%)	6.68	6.58	0.10
	Lung_R	V20	0.00	0.00	0.00
Breast5	Heart	Dmean(Gy)	7.21	7.37	-0.16
	Spinal cord	Dmax	8.65	8.61	0.04
	Lung_L	V20 (%)	10.30	10.35	-0.05
	Lung_R	V20	0.00	0.00	0.00

\*Ddiff : MRfusion - MRonly

\*MRfusion : CT fusion plan

\*MRonly : MRI only based plan

**Table 5.** Comparison of lung contouring

PTV	HI			CI		
	*MRfusion	*MRonly	*d(%)	MRfusion	MRonly	*d(%)
*Cprecise	1.09	1.08	0.67	1.018	1.025	-0.684
*Crough	1.096	1.066	2.654	1.051	1.008	4.113

\*Cprecise : precise lung contouring

\*Crough : rough lung contouring

\*MRfusion : CT fusion plan

\*MRonly : MRI only based plan

료계획에 이용한 MR & CT image fusion plan은 이미 널리 보편화 되어 임상에서 자주 이용되고 있다. 본 실험은 MRI only based plan에 대한 임상 적용 가능성을 평가하고 적용 가능한 선량구현이 이루어진다면 그 치료계획을 이용할 수 있는 사례에 적용해 보는 것이 목적이다. 방사선 치료과정

에서 simulation과정이 조금이라도 간소화될 수 있고 종종 환자들에게 피폭되는 선량을 줄일 수 있다면 그것은 분명히 MRI only based plan의 장점이라고 할 수 있을 것이다.

본 연구 결과 Viewray system에서 MR 영상은 연부조직에서 탁월한 대조도를 나타내기 때문에 비균질도 차이가 적

Table 6. OAR dose analysis of Liver

	OAR	Dose/Volume	MRfusion	MRonly	*Ddiff
Liver1	Heart	Dmean(Gy)	1	1	0.00
	Spinal cord	Dmax	5.54	5.6	-0.06
	Lung_L	V20(%)	0.00	0.00	0.00
	Lung_R	V20	0.00	0.00	0.00
	Esophagus	Dmean(Gy)	6.73	6.77	-0.04
	Liver	Dmean	4.09	4.08	0.01
Liver2	Heart	Dmean(Gy)	3.81	3.93	-0.12
	Spinal cord	Dmax	4.18	5.29	-1.11
	Lung_L	V20(%)	0.00	0.00	0.00
	Lung_R	V20	12.06	12.36	-0.30
	Esophagus	Dmean(Gy)	3.20	3.29	-0.09
	Kidney_L	Dmean	0.25	0.26	-0.01
	Kidney_R	Dmean	0.27	0.27	0.00
	Liver	Dmean	3.33	3.37	-0.04
Liver3	Spinal cord	Dmax(Gy)	23.3	24.14	-0.77
	Lung_L	V20(%)	0.23	0.44	-0.21
	Lung_R	V20	35.64	39.25	-3.61
	Kidney_L	Dmean(Gy)	5.27	5.53	-0.26
	Kidney_R	Dmean	1.27	1.31	-0.04
	Liver	Dmean	30.29	30.68	-0.39

\*Ddiff : MRfusion - MRonly

\*MRfusion : CT fusion plan

\*MRonly : MRI only based plan

은 부위에서 CT촬영 없는 MR only based plan을 이용한 방사선치료의 가능성을 확인 하였다. 또한 MR 영상유도를 통해 실시간으로 표적을 추적함으로써 더욱 정확한 환자 치료가 가능하다고 판단된다. 앞으로 본원에서 MR only based plan에 대한 지속적인 연구가 진행되어 실시간 MR-IGRT에 대한 오류와 변수를 개선해 나간다면 방사선치료의 발전에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Sasa Mutic, Ph.D, James F. Dempsey, Ph.D, The View Ray System : Magnetic Resonance-Guided and Controlled Radiotherapy. Seminars in Radiation Oncology, 2014;24, 196-199
2. Dempsey J, Dionne B, Fitzsimmons J, et al : Areal time MRI guided external beam radiotherapy delivery system. Med Phys, 2006;22, 33-54
3. E.K. Hansen, M.K. Bucci, J.M. Quivey, et al. : Repeat CT imaging and replanning during the course of IMRT for head-and-neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006;64, 355-362
4. Weiguo Lu, Gustavo H Olivera, Quan Chen, et al: Deformable registration of the planning image (kVCT) and the daily images (MVCT) for adaptive radiation therapy. Phys. Med. Biol., 2006;51, 4357-4374
5. Di Yan, Ellen Ziaja, M.D, David Jaffray, Ph.D., et al: The use of adaptive radiation therapy to reduce setup error: a prospective clinical study. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1998;41, 715-720
6. Daniel Le ´tourneua, John W. Wonga, Mark Oldhama, et al.: Cone-beam-CT guided radiation therapy: technical implementation. Radiotherapy

and Oncology, 2005;75, 279-286

7. Monica W.K. Kan, Lucillus H.T. Leung, Ph.D., et al.: Radiation Dose From Cone Beam Computed Tomography for Image-Guided Radiation Therapy. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 2008;70, 272-279
8. Vincent S. Khoo,(F.R.A.C.R.), Elizabeth J. Adams,(M.Sc.), Frank Saran, M.D., James L. Bedford, Ph.D., et al.: A comparison of clinical target volumes determined by CT and MRI for the radiotherapy planning of base of skull meningiomas. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006;46, 1309-1317

---

Abstract

## A study of usefulness for the plan based on only MRI using ViewRay MRIdian system.

Department of Radiation Oncology, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Jeon Chang Woo, Lee Ho Jin, An Beom Seok, Kim Chan young, Lee Je hee

---

**Purpose** : By comparing a CT fusion plan based on MRI with a plan based on only MRI without CT, we intended to study usefulness of a plan based on only MRI. And furthermore, we intended to realize a realtime MR-IGRT by MRI image without CT scan during the course of simulation, treatment planning, and radiation treatment.

**Materials and Methods** : BBB CT (Brilliance Big Bore CT, 16slice, Philips), Viewray MRIdian system (Viewray, USA) were used for CT & MR simulation and Treatment plan of 11 patients (1 Head and Neck, 5 Breast, 1 Lung, 3 Liver, 1 Prostate).

When scanning for treatment, Free Breathing was enacted for Head&Neck, Breast, Prostate and Inhalation Breathing Holding for Lung and Liver. Considering the difference of size between CT and Viewray, the patient's position and devices were in the same condition.

Using Viewray MRIdian system, two treatment plans were established. The one was CT fusion treatment plan based on MR image. Another was MR treatment plan including electron density that [ICRU 46] recommend for Lung, Air and Bone.

For Head&Neck, Breast and Prostate, IMRT was established and for Lung and Liver, Gating treatment plan was established. PTV's Homogeneity Index(HI) and Conformity Index(CI) were use to estimate the treatment plan. And DVH and dose difference of each PTV and OAR were compared to estimate the treatment plan.

**Results** : Between the two treatment plan, each difference of PTV's HI value is 0,089% (Head&Neck), 0,26% (Breast), 0,67% (Lung), 0,2% (Liver), 0,4% (Prostate) and in case of CI, 0,043% (Head&Neck), 0,84% (Breast), 0,68% (Lung), 0,46% (Liver), 0,3% (Prostate). As showed above, it is on Head&Neck that HI and CI's difference value is smallest.

Each difference of average dose on PTV is 0,07 Gy (Head&Neck), 0,29 Gy (Breast), 0,18 Gy (Lung), 0,3 Gy (Liver), 0,18 Gy (Prostate). And by percentage, it is 0,06% (Head&Neck), 0,7% (Breast), 0,29% (Lung), 0,69% (Liver), 0,44% (Prostate). Likewise, All is under 1%.

In Head&Neck, average dose difference of each OAR is 0,01~0,12 Gy, 0,04~0,06 Gy in Breast, 0,01~0,21 Gy in Lung, 0,06~0,27 Gy in Liver and 0,02~0,23 Gy in Prostate.

**Conclusion** : PTV's HI, CI dose difference on the Treatment plan using MR image is under 1% and OAR's dose difference is maximum 0,89 Gy as heterogeneous tissue increases when comparing with that fused CT image. Besides, It characterizes excellent contrast in soft tissue.

So, radiation therapy using only MR image without CT scan is useful in the part like Head&Neck, partial breast and prostate cancer which has a little difference of heterogeneity.

---

**Keyword** : MRI only based plan, Real time MR-IGRT