

아주대학교병원에서의 전립선암에 대한 래피드아크 치료

*아주대학교병원 방사선종양학과, †가톨릭대학교 의과대학 의공학교실,
‡가톨릭대학교 의과대학 생체의공학연구소

박혜진*^{†‡} · 김미화* · 전미선* · 오영택* · 서태석^{†‡}

본 논문에서는 세기조절방사선치료와 이중회전(double arcs)을 통한 래피드아크 치료용 치료계획을 수행하였고, 각각의 선량분포와 DVH의 특성을 비교, 평가하였다. 또한 정도관리를 통해 래피드아크 치료에 대한 신뢰도 및 정확도를 평가하고 이러한 과정들을 통해 환자에 대한 적절한 치료방법을 제시하고자 하였다. 두 치료기술에 대한 치료계획 시 임상표적용적(Clinical Target Volume, CTV)과 치료표적용적(Planning Target Volume, PTV)과 직장에 동일한 최적화 조건을 적용하였고, 그 외 정상조직에 대하여 최적화 조건 없이 가장 단순화한 조건에서 최적화의 능력과 결과 차이를 비교하였다. 래피드아크는 세기조절방사선치료와 비교하였을 때 동일한 선량제한치 적용 후 결과는 종양에 전달되는 선량은 증가하고 손상위험장기에 대해서는 더 보호하는 능력을 보여주고 있다. 따라서 세기조절방사선치료와 비교하였을 때 치료부피와 주변 장기의 부작용에 대하여 주변장기에 대한 조사선량은 줄이면서 종양에는 더 많은 선량이 조사되었다. 본 연구를 통하여 래피드아크 치료는 기존에 시행하고 있는 세기조절방사선치료 기법보다 더욱 최적의 선량 분포를 구현하고, 치료시간에 있어 보다 효율적이라는 것을 알 수 있었다. 그리고 정밀한 치료 기법인 만큼 정확한 래피드아크 치료를 시행하기 위해서는 치료 계획과 실제로 시행되는 치료가 일치하는지 확인하는 정도관리 과정이 반드시 필요하다는 것을 알 수 있었다.

중심단어: 래피드아크, 세기조절방사선치료, 전립선암, 이중회전 치료계획, 정도관리

서 론

방사선치료의 주된 목표는 종양에는 원하는 선량을 전달하고, 주변 정상조직에는 최소한의 선량만이 전달될 수 있도록 하는 것인데, 이는 세기조절방사선치료(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT), 세기조절회전방사선치료(Intensity-Modulated Arc Therapy, IMAT), 토모테라피(helical Tomotherapy), 부피적조절회전방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)와 같은 기술을 사용하여 고선량은 종양에 집중시켜 종양을 파괴하고, 종양 바깥으로 급격

한 선량 감소율(fall-off)을 만들어 주변장기의 부작용을 줄이고자 하였다.¹⁻³⁾ 아주대학교병원에서는 2009년 3월 아시아 최초로 래피드아크(RapidArcTM, Varian Medical Systems, Palo Alto, USA)를 도입하였다. 래피드아크 갠트리의 총 회전각도 1000° 이내에서 갠트리가 2회전 하는 이중회전(Double arcs)과 제한적인 3중회전(limited triple arcs) 그리고 원하는 갠트리 회전 각도를 사용할 수 있는 다중회전(Multiple arcs)까지 회전 최적화(arc optimization)에서 두 개 이상의 회전에 대한 동시 최적화가 가능하게 되었다. 래피드아크는 갠트리가 회전을 하며 빔이 조사될 때 다엽콜리메이터(Multi-leaf Collimator, MLC)의 모양, 선량율(dose rate), 갠트리 속도가 변화하면서 최적의 선량 분포를 종양에 전달하는 우수한 물리적 특성을 지닌다.⁴⁻⁶⁾ 래피드아크의 중요한 특징은 플루언스(flouence)에 기초하여 MLC의 동작(leaf motion)을 계산하는 세기조절방사선치료와는 달리 최적화를 위해 조절점(control point)이라 불리는 177개의 무작위로 발생하는 각도로 360°의 아크를 나누어 각 조절점에서 MLC위치의 순차적인 최적화를 시행한다는 것이다.⁴⁻⁶⁾ 그리고 기존에 사용했던 3차원 입체조형치료와 세기조절

이 논문은 교육과학기술부 차세대 의학물리 핵심기술 개발센터사업(과제번호 K20901000001-09E0100-00110) 지원으로 수행하였다. 이 논문은 2010년 3월 17일 접수하여 2010년 6월 7일 채택되었음.
책임저자 : 김미화, (443-721) 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지 아주대학교 의과대학 방사선종양학교실
Tel: 031)219-5884, Fax: 031)219-5894
E-mail: msmhkim@chol.com
서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505 가톨릭대학교 의과대학 의공학교실
Tel: 02)2258-7232, Fax: 02)2258-7506
E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

방사선치료와는 달리 360° 회전 동안 종양을 포함하는 동일한 열린 조사면에서 연속적인 MLC의 동작이 이루어지므로 MLC의 기계적 모양에 의한 요철효과(Tongue and Groove effect)가 360° 회전 모두에서 선량에 영향을 줄 수 있다.^{4,6)} 또한 2 Gy의 조사 선량을 전달하는데 70~90초 정도 소요되는데 이는 세기조절방사선치료에 비해 치료시간이 대폭 감소하였다.⁷⁾ 이러한 빠른 치료는 치료동안 환자가 느끼는 불편함을 줄이고, 선량 전달동안 환자움직임의 기회를 줄임으로써 외부적으로는 치료 시 환자 자세의 오차와 내부적으로는 내부 장기의 움직임에 의한 오차의 가능성을 감소시킬 수 있다. 이러한 장점으로 전립선암, 뇌종양, 두경부암 뿐만 아니라 장기의 움직임에 의해 종양의 위치 변화가 있는 부위에 대해서도 움직임의 범위에 대해 일정한 평가가 가능할 때 래피드아크가 치료에 적용되고 있다.⁸⁻¹⁵⁾ 또한 래피드아크를 위한 치료계획에 근접한 치료를 시행할 수 있도록 CBCT (Cone Beam Computed Tomography)를 이용한 3차원 영상 정보를 이용하여 환자 내 종양의 위치 획득과 환자의 자세 보정의 정확도를 높일 수 있다. 래피드아크 치료 시 환자의 자세 보정 오차(patient setup error) 또는 선량 전달에서의 오차는 종양에는 저선량을 주변 정상조직에는 고선량이 조사될 수 있기 때문에 치료계획 및 치료준비 시 세심하고 정밀함이 요구되며, 치료 전 계획된 대로 정확하게 조사되는지 검증하는 정도관리(Quality Assurance, QA) 과정이 무엇보다 중요하다. 따라서 정확한 래피드아크 치료를 시행하기 위해서는 치료 계획과 실제로 시행되는 치료가 일치하는지 확인하는 과정이 반드시 요구된다.^{5,6)}

본 논문에서는 전립선암 환자를 대상으로 아주대학교병원 방사선종양학과에서 수행한 래피드아크 치료에 대한 일반적인 과정을 소개하고자 한다. 동시에 세기조절방사선치료의 치료계획을 동일한 선량제한치에서 수행함으로써 선량계산 후의 결과를 서로 비교, 분석하였다. 이를 통하여 래피드아크 치료계획의 특징을 평가함으로써 래피드아크 치료계획 시 고려할 점을 제시하였다. 치료 계획과 실제 치료 시 선량의 분포가 일치함을 확인하기 위해 2차원 이온전리함배열 측정장치(MatriXX, Germany)와 Multicube 팬텀(IBA dosimetry, Germany), 그리고 원통형 이온전리함(ion-chamber)을 이용하여 환자 치료의 정확성을 확인하고 정도관리를 검증하여 임상에서의 적용에 대한 적합성을 확인하였다.

대상 및 방법

본원이 보유하고 있는 래피드아크용 방사선 치료 기기는 Varian사의 의료용 선형가속장치 Clinac iX (Varian, Palo Alto, USA)로 최대 선량율은 600 MU/min이고 2종류의 광자선과 5종류의 전자선을 발생한다. 또한 KV 에너지를 사용하여 3차원 영상정보를 획득할 수 있는 CBCT (Cone Beam Computed Tomography)가 장착되어 있다. 방사선치료 계획은 Eclipse (version 8.6.15, Varian Medical Systems, USA)시스템을 사용하였으며, 선량계산 알고리즘은 모두 Anisotropic Analytical Algorithm (AAA, version 8.6.15)을 사용하였다.

전립선암은 포적체적의 위치와 모양과 크기에서 래피드아크 치료를 하는데 있어 가장 이상적인 부위이다. 래피드아크 치료를 받은 전립선암 환자 중 무작위로 선택하여 래피드아크 치료를 위한 과정을 수행하였다. 치료계획을 위해 먼저 표적에 대해 정의하면 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV)으로 전립선(prostate)과 정낭(seminal vesicle)을 포함하였고 치료계획표적용적(Planning Target Volume, PTV)은 CTV의 직장 방향으로 0.5 cm의 여백을 주었고, 이를 제외한 모든 방향으로 1 cm의 여백을 주었다. 그리고 손상위험장기(Organ at Risk, OAR)로 정상적인 방광(normal bladder)과 직장과 좌우 대퇴골두(femoral head)를 고려하였다. 특히 전체 몸 중 방사선이 직접 통과하는 일부 몸(partial body)을 평가 대상에 포함하여 두 치료계획 간의 몸에 대한 선량분포를 평가하였다. 또한 방사선이 진행하는 경로에 couch의 구조물인 레일이 포함되므로 이에 대한 영향을 고려하기 위해 couch 상판 및 레일을 포함하였다. 이에 대하여 세기조절방사선치료와 래피드아크 치료에 대한 치료계획을 모두 수행하여 선량분포가 종양과 손상위험장기에 대하여 더 좋은 결과를 보이는 치료계획을 선택하였고 선량보증을 수행하였다.

1. 치료계획비교

선택한 환자에서 세기조절방사선치료와 래피드아크 치료에 대한 치료계획 시 사용한 광자선의 에너지는 6 MV이었다. 세기조절방사선치료계획에서 사용한 빔의 개수는 8개로 갠트리 각도는 30°, 65°, 100°, 135°, 225°, 260°, 295°, 330°이다. 래피드아크 치료계획에서는 181~179° 사이의 시계방향과 반시계방향의 이중회전을 사용하였고, 다엽콜리메이터의 요철효과를 줄이기 위해 콜리메이터의 각도를 5°

엇갈리도록 설정하였다(Fig. 1). 그리고 각 치료계획에서 선량제한치를 동일하게 주되 가장 단순화하여 두 치료계획의 최적화를 위한 고려 및 계산의 능력과 차이를 비교하였다. 적용한 선량제한치는 CTV에서 최소선량을 처방선량의 100%로 결정하고 PTV에서 $V_{98\%}$ 가 전체 부피의 98%가 되도록 결정하였으며 최고선량은 처방선량의 104%로 하였다. OAR에서는 직장에서만 처방선량의 50%가 장기부피의 50%를 넘지 않도록 하였고 나머지 장기에 대하여는 선량제한치 없이 각 치료계획에서 이루는 장기별 선량분포를 비교하였다. 이러한 동일 조건하에서 치료계획이 이루어졌고 그 결과를 비교하였다.

2. 선량보증

세기조절방사선치료계획과 래피드아크치료계획을 시행

하여 그 결과가 종양 및 주변정상장기에 대하여 더욱 좋은 선량분포를 가지는 치료계획을 선택하고 이에 대한 선량보증을 시행하였다. 선량보증은 점선량과 선량분포확인을 통해 수행되었다. 점선량은 원통형진리함 0.01 cc (CC01, IBA, Germany)와 전기계 DOSE1 (IBA, Germany)을 사용하여, 선량보증용 치료계획에 의한 선량을 20 cm 높이의 폴리스티렌 팬텀($30 \times 30 \times 20 \text{ cm}^3$)에 전달했을 때 팬텀 중심에 전달된 선량을 측정하였다(Fig. 2a). 그 결과가 계획된 중심 선량과 일치하는지 확인하였다. 선량분포 확인은 기존에 사용하던 필름 대신 2차원적 이온전리함 배열의 측정장치 (I'mRT MatriXX, IBA, Germany)와 이를 삼입할 수 있는 팬텀인 멀티큐브(Multicube, IBA, Germany)를 사용하였다(Fig. 2b). 이 측정 장치는 $24 \times 24 \text{ cm}^2$ 범위에 1,024개의 평판형 전리함이 일정한 간격으로 배열되어 있다. 환자의 치료를

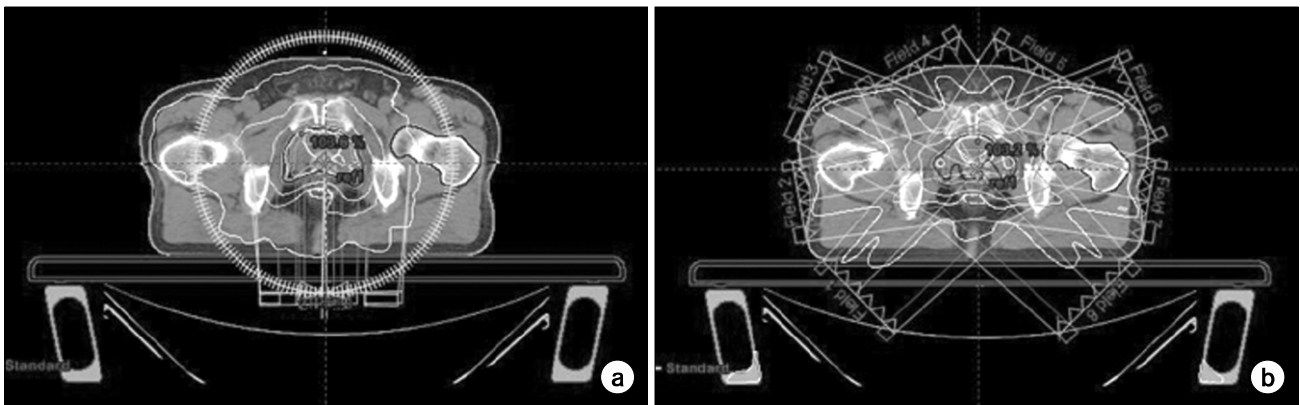


Fig. 1. Dose distributions on axial view between (a) double arcs plan and (b) IMRT plan.



Fig. 2. Setup of quality assurance (a) point dose with polystyrene phantom and CC01 ion-chamber and (b) I'm MatriXX with Multicube phantom.

위해 실제 조사될 치료계획에 대해 선량보증을 위하여 MatriXX를 포함한 멀티큐브 팬텀에서 방사선 흡수선량을 재계산하여 선량분포를 얻고, 팬텀에서 예측되는 선량분포를 실제 측정과 비교하여 치료계획과 방사선 조사의 정확성을 확인하는 방법을 사용하였다. MatriXX 조사 조건은 선원과 검출기의 거리(Source to Detector Distance, SDD)를 100 cm로 하였고 SSD는 89 cm로 전체 팬텀의 높이는 22 cm이다. 측정에 앞서 MatriXX는 팬텀의 5 cm 깊이에서 절대선량교정을 하였다. MatriXX에 조사된 선량분포 확인 및 비교를 위해 OmmiPro I'mRT (OP-IMRT, ver 1.6, IBA, Germany) 분석프로그램을 사용하여 본원에서 허용치 범위인 2 mm와 3%의 공간적(spatial), 선량적(dosimetric) 범위 내에서의 측정치와 계산치 사이의 일치도를 감마 평가(gamma evaluation)를 사용하여 계산하였다.

결 과

1. 치료계획비교

선택한 환자에서 고려한 CTV와 PTV와 방광과 직장의 체적은 각각 44.45 cm³, 136.46 cm³, 33.87 cm³, 35.48 cm³이

고 세기조절방사선치료와 래피드아크치료용 치료계획을 통한 선량분포는 Fig. 1과 같다. 그리고 Fig. 3에서 보여주듯이 세기조절방사선치료와 래피드아크치료용 치료계획의 결과는 종양에 처방선량을 주기 위한 최소 선량분포(처방 선량분포, prescribed dose percentage)의 결정 전후에 대한 선량 체적 히스토그램을 통해 비교하였다. 처방선량 레벨 결정전의 결과에서 표적체적에 대한 선량제한치에 가장 근접한 결과를 보이는 것은 래피드아크에 대한 치료계획이었고 주변 장기에 대한 D_{mean}은 왼쪽 대퇴골두를 제외하고 거의 동일하였고, D_{max}는 오른쪽 대퇴골두에서 세기조절방사선치료가 8.8% 높았으며, 이를 제외한 장기는 두 치료기법이 비슷하거나 래피드아크가 조금 높았다(Table 1). 또한 GTV와 PTV의 D_{min}는 래피드아크가 각각 3.2%, 4% 높았으며 D_{max}는 래피드아크가 각각 0.6%, 1.1%로 조금 높았다. 일부 몸에서 선량 분포는 35%이상의 선량(D≥35%)이 분포하는 체적에 대하여 동일하였고 30% 선량이 분포하는 체적(V_{30%})은 래피드아크가 3% 정도 낮았고 10% 선량이 분포하는 체적(V_{10%})은 약 11% 높았다(Table 2). 두 치료계획에서 PTV의 전체체적 중 98%를 포함하는 선량분포레벨(D_{98%})에 선량을 처방했을 때 장기별 선량분포의 변화를 비

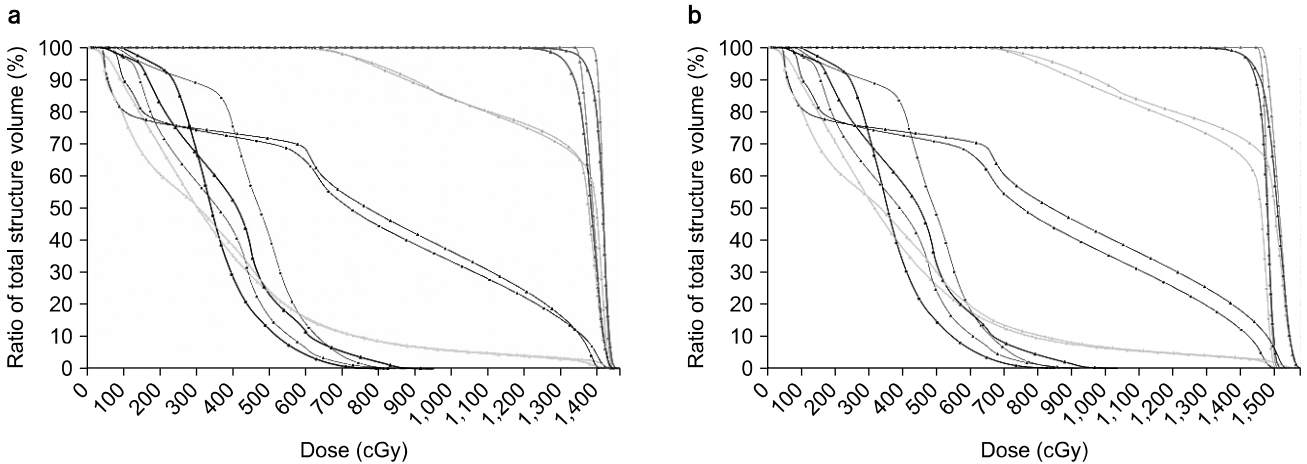


Fig. 3. DVHs (a) before and (b) after definition of the prescribed percentage: PTV (Red), CTV (Pink), Bladder (Cyan), Rectum (Brown), Lt. Femoral head (Dark green), Partial body (Green), Rt. Femoral head (Blue).

Table 1. Dose percentage between 2RA and IMRT before definition of the prescribed percentage. (Unit: %)

	GTV		PTV		Rectum		Bladder		Rt. Femoral head		Lt. Femoral head		Partial Boday	
	D _{min}	D _{max}	D _{v=98%}	D _{max}	D _{mean}	D _{max}	D _{mean}	D _{max}	D _{mean}	D _{max}	D _{mean}	D _{max}	D _{mean}	D _{max}
Double arcs	98.8	103.9	95.8	104.4	52.8	102.6	91.2	103.4	25.6	59.2	33.2	62.6	27.2	104.4
IMRT	95.7	103.3	91.8	103.3	53.7	100.7	90.8	103.3	29.1	68.0	24.8	60.5	26.0	103.3

교해 보았다(Table 3). D_{mean} 는 방광과 직장과 오른쪽 대퇴골두에서 래피드아크가 세기조절방사선치료보다 낮았고 왼쪽 대퇴골두는 약 7% 높은 반면 D_{max} 는 모두 세기조절방사선치료가 래피드아크 보다 0.6~12.4% 높았다. 또한 일부몸에 대한 D_{mean} 은 동일하였고 특히 $V_{30\%}$ 이 약 5% 낮아 졌다(Table 4). 모니터 단위 값은 세기조절방사선치료보다 123 MU 낮았다.

2. 선량보증

래피드아크치료계획에서 종양과 정상장기에 대하여 세기조절방사선치료계획보다 더 좋은 선량분포를 가진다고 평가한 후 이에 대한 선량보증을 시행하였다. 선량보증은 점선량과 선량분포확인을 통해 수행되었다. 점선량과 선량분포의 측정을 위하여 실제 조사될 치료계획에 대해 폴리

스티렌 팬텀과 MatriXX를 포함한 멀티큐브 팬텀에서 방사선 흡수선량을 재계산하고 이것에 따라 실제 해당측정을 위해 설치한 팬텀에 Fig. 4와 같이 방사선을 조사하고 측정하였다. 점선량은 측정을 위해 계획한 팬텀 중심에서의 선량 185.2 cGy에 대하여 실제 측정된 선량은 185 cGy로 -0.05%의 차이를 보이며 이는 본원의 선량적 허용범위인 2% 이내로 일치하고 있다. 또한 계산한 선량분포와 측정된 선량분포의 일치도를 선량차이가 3%이고 위치차이가 2 mm 내에서 평가한 결과 감마값 1 이내가 98.35%로 거의 동일하였다(Fig. 5, 6).

고찰 및 결론

본 연구는 최근 국내에 빠르게 도입이 되고 있는 래피드

Table 2. Dose percentage of Partial body between 2RA and IMRT before definition of the prescribed percentage.

	$V_{30\%}$	$V_{10\%}$
Double arcs	32.7%	80.8%
IMRT	35.8%	69.3%

Table 4. Dose percentage of Partial body between 2RA and IMRT after prescribing dose percentage.

	$V_{30\%}$	$V_{10\%}$
Double arcs	34.8%	81.9%
IMRT	40.0%	71.5%

Table 3. Mean dose between 2RA and IMRT after prescribed dose percentage. (Unit: %)

MU		Rectum		Bladder		Rt. Femoral head		Lt. Femoral head		Partial body	
		D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}
Double arcs	636	95.2	107.1	55.1	107.9	26.7	61.7	34.7	65.3	28.4	108.9
IMRT	759	98.9	109.7	58.5	112.5	30.6	74.1	27.1	65.9	28.3	112.5

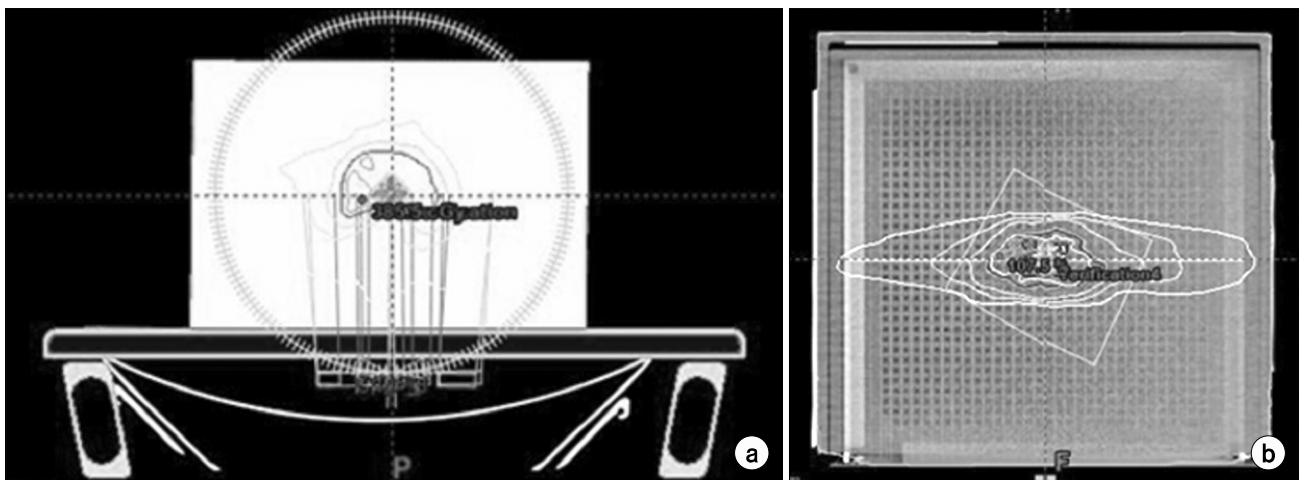


Fig. 4. Verifying dose plan: (a) for point dose measurement (b) for dose distribution measurement.

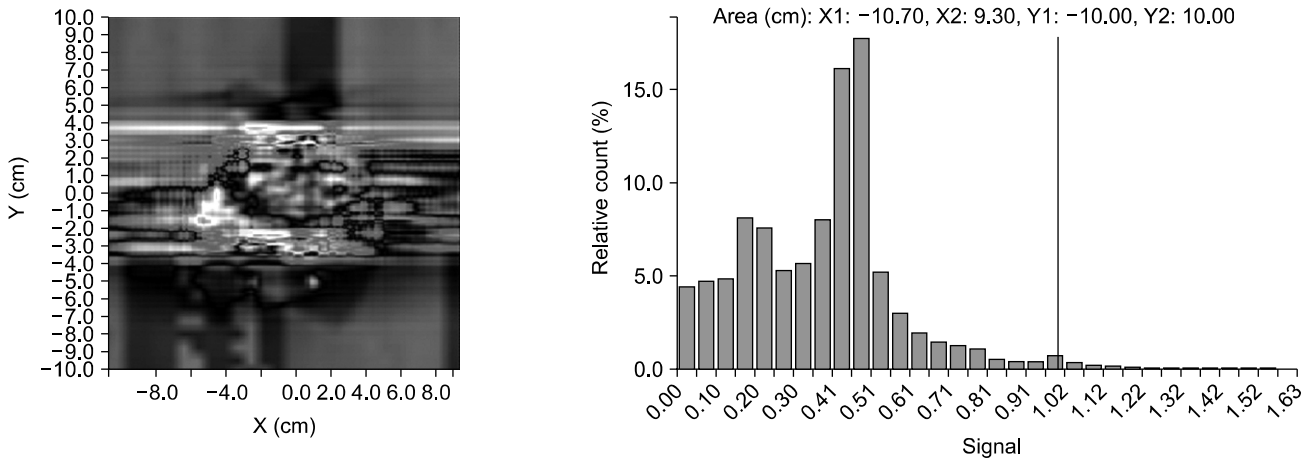


Fig. 5. Gamma evaluation with spatial and dosimetric limits of 2 mm and 3% between measurement and calculation.

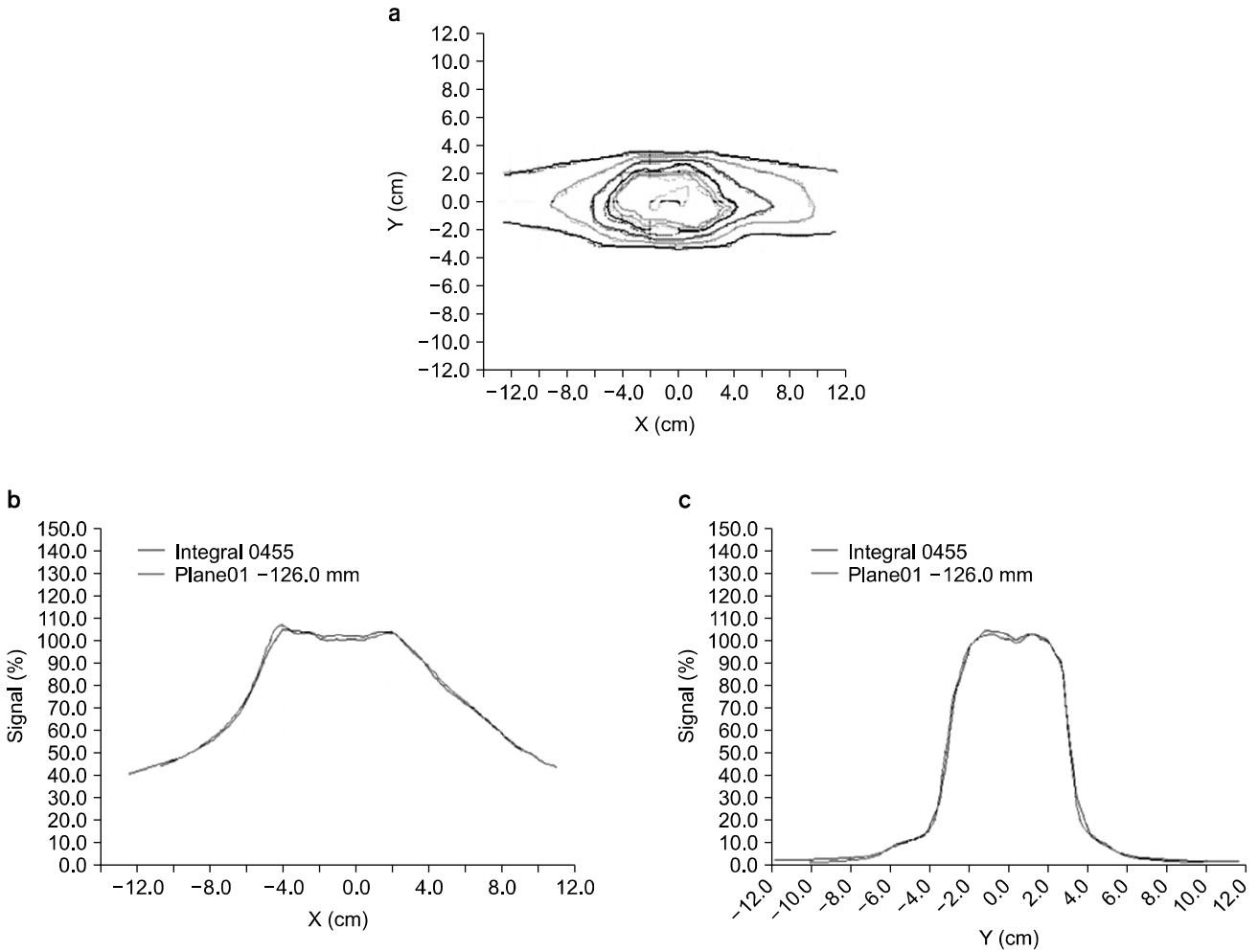


Fig. 6. Overlapping isodose distribution between measurement and calculation: (a) isodose plane, dose profile (b) for X-direction (c) for Y-direction (red line is measurement, green line is calculation).

아크 치료에 대하여 많은 기관과 의료진에게 관심은 높으나 국내에 많은 사례가 없었다. 따라서 본원에서는 국내최초 도입 기관으로서 전립선암에 대한 치료계획과, 환자의 치료 환경과 동일한 조건에서 정도관리가 이루어지도록 고체 팬텀을 이용한 점선량과, 멀티큐브 팬텀과 MatriXX를 이용하여 측정된 정보를 제공하고자 하였다. 세기조절방사선치료의 경우는 고정된 빔에서 비균일 플루언스를 사용하는 반면 래피드아크의 경우는 갠트리가 회전하면서 MLC의 연속적인 동작과 함께 플루언스가 비균일하게 변하기 때문에 실제 치료선량분포와 절대선량의 확인이 필수적이다.^{5,6)} 또한 치료 시 환자의 위치를 일정하게 고정함과 동시에 종양의 위치도 항상 일정하게 유지하는 것이 무엇보다 중요하다.⁶⁾ 이러한 치료기법은 내부 장기의 움직임이 많은 간이나 폐에서는 제약이 있기 때문에 전립선암, 두경부암, 뇌종양 등 내부 종양 움직임에 의한 위치 오차가 최소인 부위에 사용하는 것이 적절하다.⁸⁻¹⁴⁾ 그러나 최근 래피드아크 치료의 사용이 증가하면서 래피드아크의 장점인 빠른 선량전달시간으로 인하여 부적절하다고 판단되었던 움직임이 있는 장기에도 많은 적용을 하기 시작하였다.¹⁶⁻¹⁸⁾

본 논문에서는 래피드아크 치료를 받은 환자 중 전립선암 환자에 대해 무작위로 선택하였다. 치료계획으로 세기조절방사선치료와 래피드아크에서의 더블아크 치료계획을 시행하고 그 계산 결과에서 선량분포와 DVH를 각각 비교, 분석하여 종양과 주변 정상장기에 분포하는 선량분포가 가장 적당한 치료계획을 선택하고자 하였다. 그 결과 래피드아크 치료계획이 기존에 보편적으로 사용하던 세기조절방사선치료 보다도 치료 속도가 빠를 뿐 아니라, 훨씬 좋은 선량 분포를 가지고 있으며 작은 모니터 단위 값을 가진다는 것을 알 수 있었다. 또한 더블아크 치료계획을 시행 시 종양에 집중적으로 고선량을 전달하고, 세기조절방사선치료 보다 종양 주변 정상장기인 직장, 방광, 대퇴골두에 분포하는 선량이 거의 동일하거나 좀 더 감소됨을 알 수 있었다. 또한 래피드아크의 치료 특성으로 예상되는 10%의 선량분포와 같은 저선량에 대한 넓은 부위로의 분포는 세기조절방사선치료의 치료계획 결과 보다 10% 정도 증가함을 알 수 있었다.

2008년 4월에 발표되어 활발하게 임상에 사용되어지고 있는 래피드아크 치료는 잠재적인 위험도가 높아 환자 자세 보정 시 특별한 주의가 필요로 한다. 본 연구의 대상인 전립선암은 비교적 다른 장기에 비하여 움직임이 덜하여 래피드아크 치료에 유용하지만, 많은 연구자들을 통하여 전립선암에 대한 정확한 위치 추적 시스템 및 보정 시스템

등이 개발되면서 세기조절방사선치료 및 3차원 입체조형 치료 등에 적용을 하고 있다.¹⁹⁻²¹⁾ 따라서 이를 래피드아크 치료에서도 위치추적 시스템인 임플란트 마커(implant marker) 또는 칼립소(Calypso) 등을 사용하여 움직임을 보정할 수 있다면 더욱 정확하고 효율적인 치료가 될 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 래피드아크는 급격한 선량변동이 종양과 정상조직 경계에서 형성이 되기 때문에 작은 오차는 치료의 위험성을 높여 치료의 정확도가 필요로 한다. 이러한 정확성의 요구 때문에 환자에게 방사선을 조사하기 전 종양부위와 근접해 있는 중요장기에 방사선이 치료 계획된 대로 정확하게 조사되는지 검증하는 정도관리 과정이 무엇보다도 중요하며 필수적이다. 또한 래피드아크 치료는 세기조절방사선치료보다 치료계획시간이 오래 걸리기 때문에 이를 원활하게 사용하기 위해서는 정확한 선량 검증과 조작성 간편하고 짧은 시간 내에 분석이 가능한 효율적인 래피드아크 정도관리 시스템이 갖추어져야만 한다. 래피드아크 치료에 대한 선량보증과정은 기존의 세기조절방사선 치료에서 시행하였던 점선량 측정과 선량분포 측정이라는 점에서 크게 차이가 있지는 않다. 그러나 기존의 선량분포 측정에서 일반적으로 사용하던 필름을 이용한 방식이 아닌 2차원적 이온전리함 배열의 측정 장치를 이용하여 필름을 이용한 상대적인 선량분포측정에서 벗어나 선량분포 뿐만 아니라 절대선량의 측정, 비교가 동시에 가능하여 측정 및 분석평가에 있어서 시간이 대폭 감소하여 측정의 효율성이 높아 질 수 있다. 이러한 선량보증을 통해 래피드아크의 치료가 정확하게 계획한 선량을 전달하고 그 분포 또한 계획한 것과 거의 일치함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과는 임상에서 전립선암의 효율적인 래피드아크 치료계획 및 정도관리에 있어 좋은 자료가 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Muren LP, Wasbo E, Helle SI, et al: Intensity-modulated radiotherapy of pelvic lymph nodes in locally advanced prostate cancer: Planning procedures and early experiences. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 71:1034-1041 (2009)
2. Liu YM, Shiau CY, Lee ML, et al: The role and strategy of IMRT in radiotherapy of pelvis tumors: Dose escalation and critical organ sparing in prostate cancer. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 67:1113-1123 (2007)
3. Iori M, Cattaneo GM, Cagni E, et al: Dose-volume and biological-model based comparison between helical tomotherapy and (inverse-planned) IMAT for prostate tumours. *Radiother Oncol* 88:34-45 (2008)
4. Otto K: Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single

- gantry arc. *Med Phys* 35:310-317 (2007)
5. **Korremans S, Medin J, Kjar-Kristoffersen F**: Dosimetric verification of RapidArc treatment delivery. *Acta Oncol* 48:185-191 (2009)
 6. **Otto K**: Patient-specific quality assurance method for VAMT treatment delivery. *Med Phys* 36:4530-4535 (2009)
 7. **Popescu CC, Olivetto IA, Beckham WA, et al**: Volumetric modulated arc therapy improves dosimetry and reduces treatment time compared to conventional intensity-modulated radiotherapy for locoregional radiotherapy of left-sided breast cancer and internal mammary nodes. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 76:287-295 (2009)
 8. **Palma D, Vollans EPJ, James K, et al**: Volumetric modulated arc therapy for delivery of prostate radiotherapy: Comparison with intensity-modulated radiotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 72:996-1001 (2008)
 9. **Verbakel WFAR, Cuijpers JP, Hoffmans D, et al**: Volumetric intensity-modulated arc therapy VS. conventional IMRT in Head-and-Neck cancer: A comparison planning and dosimetric study. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 74:252-259 (2009)
 10. **Zhang P, Happersett L, Hunt M, et al**: Volumetric modulated arc therapy: Planning and evaluation for prostate cancer cases. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 76:1456-1462 (2009)
 11. **Lagerwaard FJ, Meijer OWM, Hoorn EAP, et al**: Volumetric modulated arc radiotherapy for vestibular schwannomas. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 74:610-615 (2009)
 12. **Kjar-Kristoffersen F, Ohlhues L, Medin J, et al**: Rapid-Arc volumetric modulated therapy planning for prostate cancer patients. *Acta Oncol* 48:227-232 (2009)
 13. **Vanetti E, Clivio A, Nicolini G, et al**: Volumetric-modulated arc radiotherapy for carcinomas of the oro-pharynx: a treatment planning comparison with fixed field IMRT. *Radiother Oncol* 92:111-117 (2009)
 14. **Clivio A, Fogliata A, Franzetti-Pellanda A, et al**: Volumetric-modulated arc radiotherapy for carcinomas of the anal canal: A treatment planning comparison with fixed field IMRT. *Radiother Oncol* 92:118-124 (2009)
 15. **Vanetti E, Clivio A, Nicolini G, et al**: A treatment planning study comparing volumetric arc modulation with RapidArc and fixed field IMRT for cervix uteri radiotherapy. *Radiother Oncol* 89:180-191 (2009)
 16. **Benford JL, Hansen VN, Mcnair HA, et al**: Treatment of lung cancer using volumetric modulated arc therapy and image guidance: A case study. *Acta Oncol* 47:1438-1443 (2008)
 17. **Verbakel WFAR, Cuijpers SSJP, Slotman BJ, et al**: Rapid delivery of stereotactic radiotherapy for peripheral lung tumors using volumetric intensity-modulated arcs. *Radiother Oncol* 93:122-124 (2009)
 18. **Bignardi M, Cozzi L, Fogliata A, et al**: Critical appraisal of volumetric modulated arc therapy in stereotactic body radiation therapy for metastases to abdominal lymph nodes. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 75:1570-1577 (2009)
 19. **Litzenberg DW, Balter JM, Hadley SW, et al**: Influence of intrafraction motion on margins for prostate radiotherapy. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 65:548-553 (2006)
 20. **Willoughby TR, Kupelian PA, Pouliot J, et al**: Target localization and real-time tracking using the calypso 4D localization system in patients with localized prostate cancer. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 65:528-534 (2006)
 21. **Langen KM, Pouliot J, Anezinos C, et al**: Evaluation of ultrasound-based prostate localization for image-guided radiotherapy. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 57:635-644 (2003)

First Clinical Experience about RapidArc Treatment with Prostate Cancer in Ajou University Hospital

Hae-Jin Park^{*†‡}, Mi-Hwa Kim^{*}, Mison Chun^{*}, Young-Teak Oh^{*}, Tae-Suk Suh^{†‡}

^{*}Department of Radiation Oncology, Ajou University Hospital, Suwon,

[†]Department of Biomedical Engineering, [‡]Research Institute of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

In this study, the patient with localized prostate cancer who had previously been treated at Ajou University Hospital was randomly selected since March, 2009. we performed IMRT and 2RA plans and the same dose objectives were used for CTVs, PTVs, rectum, bladder, and femoral head of the respective plans. Arc optimizations and dose calculations were performed using Eclipse versions 8.6. In this paper, we evaluated the performance of IMRT and RA plans to investigate the clinical effect of RA for prostate cancer case. In our comparison of treatment techniques, RA was found to be superior to IMRT being better dose conformity of target volume. As for the rectum and bladder, RA was better than IMRT at decreasing the volume irradiated. RA has the ability to avoid critical organs selectively through applied same dose constraints while maximally treating the target dose. Therefore, this result suggests that there should be less rectal toxicity with RA compared with IMRT, with no compromise in tumor margin. These findings, which show more favorable rectal, bladder, and femoral head DVHs with RA, imply that should not result in excess risk of toxicity when this technique is used. Many experiences with RA have shown not only dosimetric advantage, but also improved clinical toxicity when comparing with IMRT. The main drawbacks of RA are the more complex and time-consuming treatment planning process and the need for more exact physics quality assurance (QA).

Key Words: RapidArc, IMRT, Prostate cancer, Double arcs planning, Quality assurance