

간암환자를 대상으로 한 래피드아크 치료계획에서 아크수 및 회전범위가 선량분포에 미치는 영향

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

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

본 논문에서는 간암 환자를 대상으로 3차원입체조형치료와 세기조절방사선치료와 3종류의 래피드아크 치료를 위한 치료계획을 수행하여 각각의 선량분포와 선량 체적 히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)의 특성을 비교, 평가하고 이를 통해 래피드아크 치료 환자에 대한 적절한 갠트리 회전수의 범위를 제시하고자 하였다. 치료계획은 작은 종양의 용적을 가지며 내부 장기 및 종양의 움직임이 비교적 작은 간암환자를 대상으로 3차원입체조형치료와 세기조절방사선치료와 더블아크(double arcs)와 제한적인 트리플아크(limited triple arcs)와 멀티플아크(multiple arcs)치료에 대해 Eclipse 8.6 버전에서 시행하였다. 또한 치료계획 시 임상표적용적(Clinical Target Volume, CTV)과 치료표적용적(Planning Target Volume, PTV)에 동일한 최적화 조건을 적용하였고, 각각의 정상조직에는 개별적인 선량 제한치 적용대신 종양 주변 정상조직에서의 선량 감소율을 일괄적으로 적용하였다. 임상표적용적과 치료표적용적의 전체 몸에 적용한 치료계획 선량 제한치에 대한 실제 계산결과와 만족도는 래피드아크가 세기조절방사선치료보다 높았으며 래피드아크에서 더블아크와 제한적인 트리플아크와 멀티플아크는 만족도가 거의 동일하였다. 또한 각 치료계획에서 치료표적용적에 계획한 선량 제한치에 따라 SALT group이 제안한 Conformity Index (CI)가 0.98인 선량 분포범위에 처방선량을 결정하였다. 이때 RTOG에서 제안한 CI, Homogeneity Index (HI), Quality of Coverage (QOC)와 Lomax and Scheib에서 제안한 Healthy tissue conformity index (HTCI) 등을 평가하였다. 항목별로 차이는 있지만 총체적인 평가 결과는 멀티플아크가 전체적으로 좋았으며 모니터 단위 값의 비교에서도 멀티플아크가 가장 작았다. 본 연구를 통하여 래피드아크 치료는 기존에 시행하고 있는 3차원입체조형치료 또는 세기조절방사선치료 기법보다 더욱 최적의 선량 분포를 구현한다는 것을 알 수 있었다. 또한 래피드아크 치료계획에서 멀티플아크 치료계획은 더블 또는 제한된 트리플아크 치료계획보다 모니터 단위 값이 작고, 선량의 균질성 및 종양내의 최소선량은 비슷하거나 좋아지는 동시에 주변 정상조직에는 선량이 감소되는 것을 알 수 있었다.

중심단어: 래피드아크, 간암, 더블아크 치료계획, 멀티플아크 치료계획, 세기조절방사선치료

서 론

방사선 치료의 최대 목표는 치료 표적에 전달하는 선량을 최대화하고 인접한 장기에 대해서는 선량을 최소화하는

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. K20901000001-09E0100-00110).

이 논문은 2010년 3월 11일 접수하여 2010년 4월 22일 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

데 있다. 이전 수년 간 이러한 목표에 접근하기 위해 세기조절방사선치료(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT), 세기조절활꼴방사선치료(Intensity-Modulated Arc Therapy, IMAT), 토모테라피(helical Tomotherapy)와 같은 기술을 사용하여 고선량은 종양에 집중시키면서 종양 바깥으로 급격한 선량 감소율을(fall-off) 만들어 내고자 하였다.¹⁻³⁾ 최근 래피드아크(RapidArc, Varian Medical Systems, Palo Alto, USA)가 소개되면서 이 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.⁴⁻⁶⁾ 래피드아크는 갠트리가 회전을 하며 빔이 조사될 때 다엽콜리메이터(Multi-leaf Collimator, MLC)의 모양, 선량률(dose rate), 갠트리 속도가 변화하면서 최적의 선량 분포를 종양에 전달하는 우수한 물리적 특성을 지닌다.⁴⁻⁶⁾ 래피드아크의 중요한 특징은 플루언스에 기초한 세기조절방사선치료를 위

해 발생한 MLC의 동작과는 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 보편적으로 사용해 오던 3차원 입체조형치료와 세기조절방사선치료와는 달리 360° 회전 동안 종양을 포함하는 동일한 열린 조사면에서 연속적인 MLC의 동작이 이루어지므로 MLC의 기계적 모양에 의한 요철효과가 360° 회전 모두에서 선량에 영향을 줄 수 있어 치료계획 시 이를 최소화하기 위한 고려가 필요하다.^{4,6)} 또한 2 Gy의 한번 선량을 전달하는데 일반적으로 70~90초 정도 소요되는데 이는 기존에 사용하던 치료기술과 비교해 치료시간이 대폭 감소하였다.⁷⁾ 이러한 빠른 치료는 치료동안 환자가 느끼는 불편함을 줄이고, 선량 전달동안 환자움직임의 기회를 줄임으로써 외부적으로는 치료 시 환자 자세의 오차(setup error)와 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 움직임이 그다지 심하지 않거나 움직임의 범위에 대해 일정한 평가가 가능할 때 래피드아크가 치료에 적용되고 있다.⁸⁻¹⁵⁾ 또한 래피드아크 치료 전 CBCT (Cone Beam Computed Tomography)를 이용한 3차원 영상 정보의 획득을 통해 환자의 치료자세보정의 정확성을 높여 치료계획에 보다 근접한 치료를 시행할 수 있다. 일반적으로 통제나 조절이 불가능한 장기 중 대표적인 장기로 간을 예로 들 수 있는데 본 연구에서는 4차원 컴퓨터모의촬영기에서 환자의 호흡 전체에 대한 영상을 획득하여 환자의 호흡에 따른 간의 움직임이 규칙적이면서 변화가 작은 환자 중에서 종양이 환자 몸에 대해 중앙이 아닌 옆에 위치한 환자를 선택하여 래피드아크 치료의 적용 시 아크

의 회전각도 범위 및 회전 아크 수에 따른 종양과 간에서의 선량분포에 대한 영향을 조사하고 이를 통해 종양의 위치에 따른 아크의 선택적 회전 범위의 사용 가능성을 제시하고자 하였다. 또한 기존에 시행해왔던 입체조형치료 및 세기조절치료를 적용했을 때 선량분포 결과와 모니터 단위 값과의 비교를 통하여 래피드아크 치료의 선량분포의 개선 및 빠른 선량 전달 시간의 정도를 조사하고자 하였다.

대상 및 방법

본원이 보유하고 있는 래피드아크용 방사선 치료 기기는 의료용 선형가속장치 iX (Varian, USA)로 가능한 최대 선량율은 600 MU/min이고 2종류의 광자선과 5종류의 전자선을 발생한다. 래피드아크에 사용하는 광자선의 에너지는 6 MV와 10 MV로 본 연구에 사용한 광자선 에너지는 10 MV이다. 방사선치료계획은 더블아크, 멀티플아크 등 싱글아크 이상의 아크를 가진 치료계획에 대해 아크 최적화가 가능한 Eclipse (version 8.6.15, Varian Medical Systems, USA) 시스템을 사용하였으며, 계산 알고리즘은 3차원 입체조형치료계획을 제외하고 모두 Anisotropic Analytical Algorithm (AAA, version 8.6.15)을 사용하였다.

본 연구에서는 4차원 컴퓨터모의촬영기에서 환자의 호흡 전체에 대한 영상을 획득하여 환자의 호흡과 간의 움직임에 대한 확인을 하였고 움직임이 규칙적이면서 변화가 작은 환자를 선택하였는데 본 연구의 대상인 간암환자의 표적 위치는 환자 몸에 대해 중앙이 아닌 좌엽 외측부(left lateral segment)에 위치하고 있으며 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV)의 용적은 1.37 cm³이었다. 치료계획표적용적(Planning Target Volume, PTV)의 결정은 4차원 컴퓨터모의촬영기에서 얻은 영상을 통하여 환자의 호흡에 따른

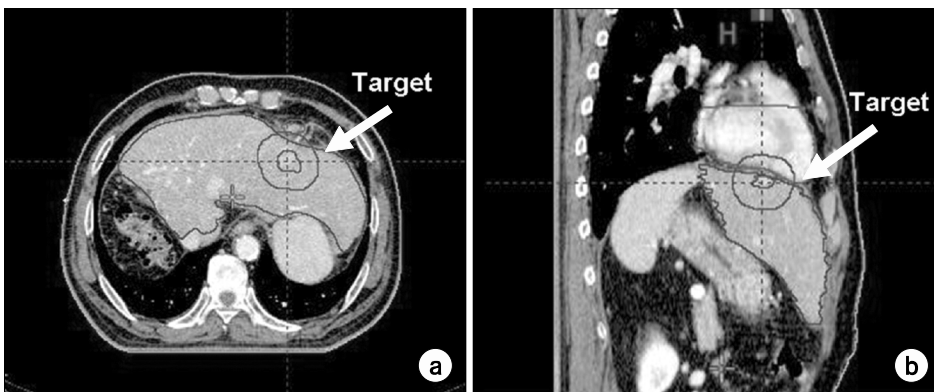


Fig. 1. Position of the target in Liver cancer: (a) axial view of tumor location, (b) sagittal view of tumor location.

종양이 위치한 간의 움직임을 측정하였다. 그 결과 종방향을 제외한 다른 방향에서는 0.5 cm 미만이고 종방향으로 0.5 cm인 거의 평행이동의 움직임을 가졌다. 이에 치료계

획표적용적으로 내부종양움직임과 함께 환자 자세 보정 오차로 1 cm를 더 고려하여 임상표적체적에 대하여 1.5 cm의 여백을 결정하였다. 그 결과 PTV의 용적은 53.45 cm³이었다(Fig. 1). 손상위험장기(Organ at risk, OAR)로는 심장공간과 부분적 몸통(partial body)을 고려하였는데 부분적 몸통이란 CT 영상을 통한 전체 몸의 획득 범위 중 래피드아크를 위해 설정한 조사면이 직접 통과하는 범위를 뜻한다(Fig. 2).

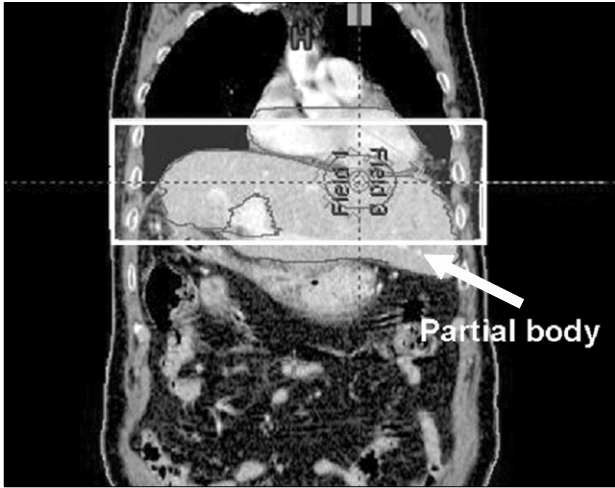


Fig. 2. Partial body means the direct pass range of defined field for rapid arc among acquired range of whole body via CT image.

1. 치료기술에 따른 치료계획 비교

동일 환자에 대하여 크게 3종류의 다른 치료기술에 대한 치료계획을 시행하였는데 3차원 입체조형치료, 세기조절방사선치료와 래피드아크 치료 기술이다. 종양과 종양 주변의 장기인 심장공간에 대해 가장 최적의 선량분포를 만들 수 있는 조사면의 크기와 조사면의 방향등 기계적인 설정을 각 치료기술에 따라 결정하였다. 이에 따라 3차원 치료계획은 20°, 75°, 330°의 총 3개의 빔을 사용하였고(Fig. 3a), 세기조절방사선 치료계획은 20°, 75°, 330°, 120°, 180°의 총 5개 빔을 사용하였다(Fig. 3b).

래피드아크 치료계획은 3종류의 다른 치료계획을 시행

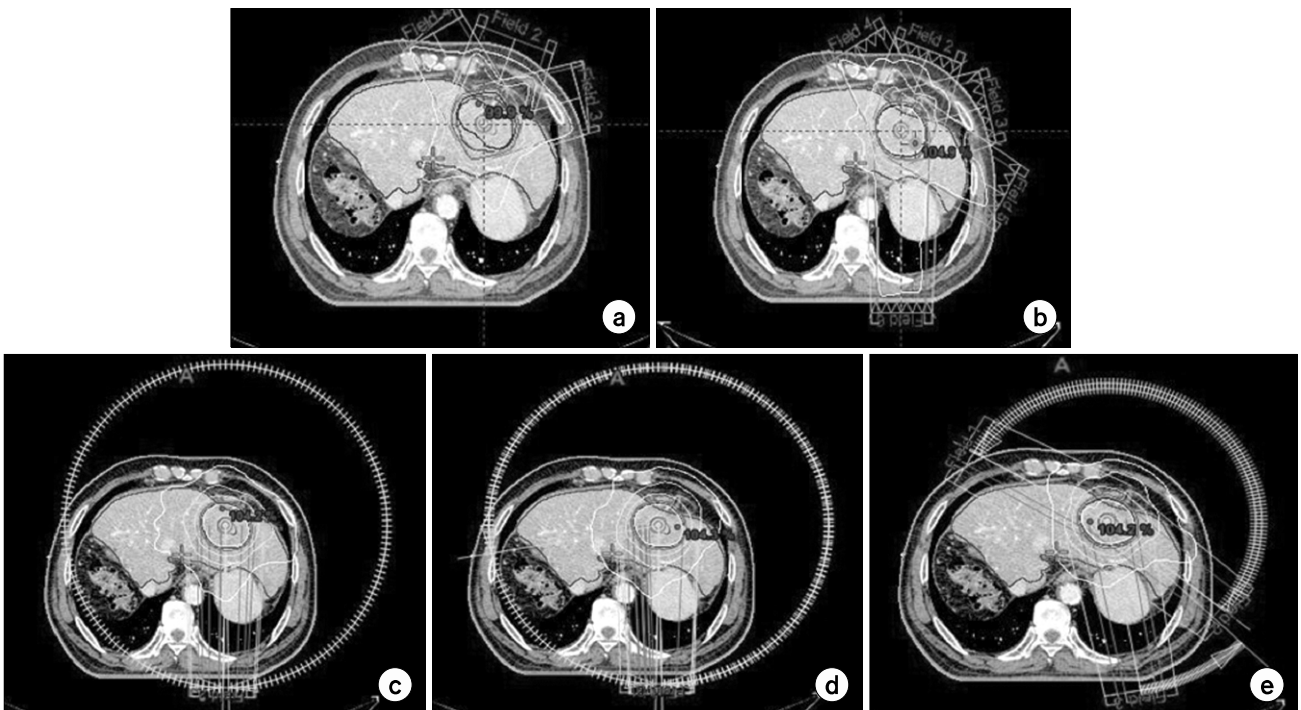


Fig. 3. A screen-shot of the 5 kinds of Plan's dose distribution in liver cancer: (a) Using 3 fields in 3D plan, (b) using 5 fields in IMRT plan, (c) double arcs plan, (d) limited triple arcs plan, (e) multiple arcs plan.

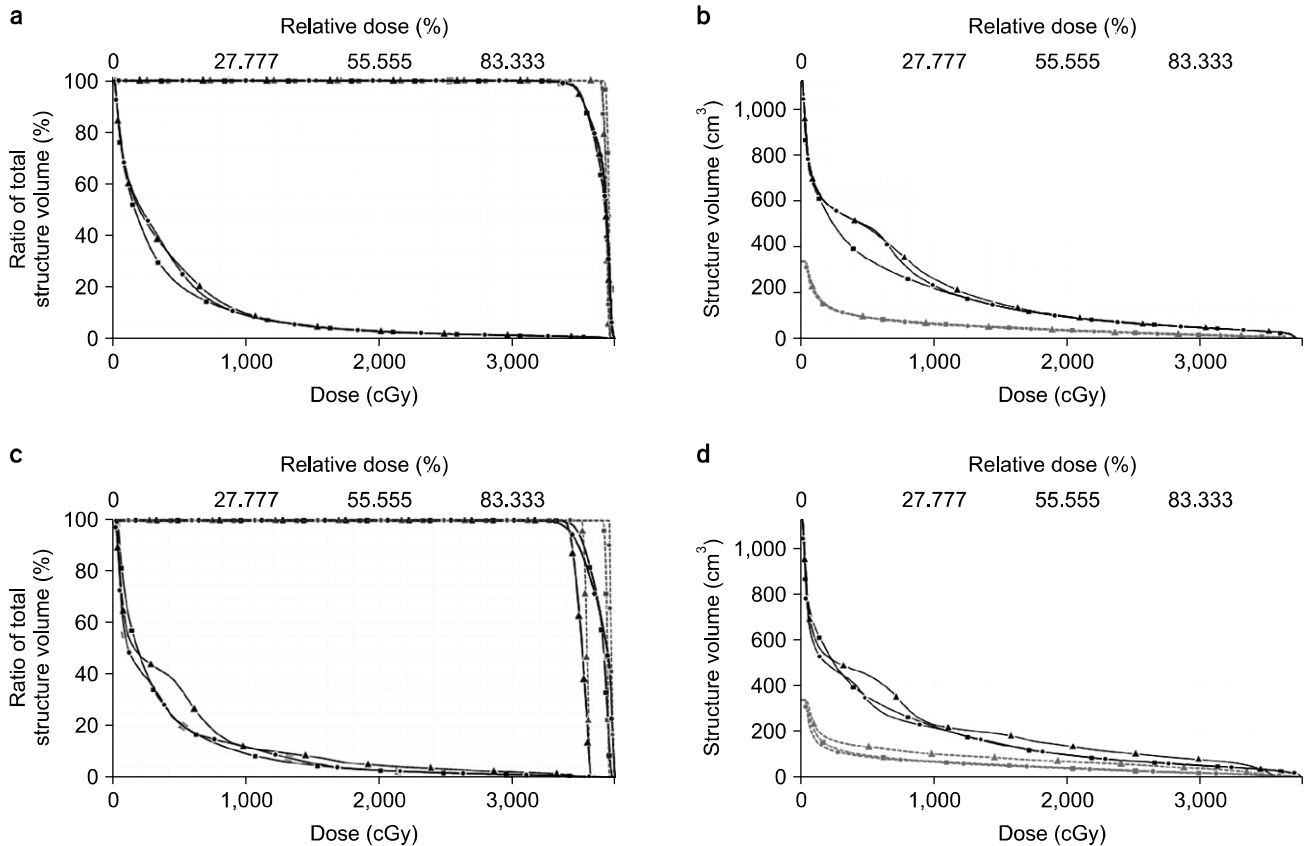


Fig. 4. Comparison of dose-volume histograms (DVHs) for (a) RAs PTVs and partial body, (b) OARs of RAs, (c) tumor volume and partial body of 3D CRT vs IMRT vs Multiple arcs, (d) OARs of 3D CRT vs IMRT vs Multiple arcs. DVHs of Multiple arcs plans (squares) show the steepest PTV DVH and lowest organs at risk (OAR) DVH compared with Double arcs plans (triangles) and Limited Triple arcs plans (circles) in (a) and (b). On the other hand, DVHs of Multiple arcs plans (squares) show the steepest PTV DVH and lowest organs at risk (OAR) DVH compared with IMRT plans (circles) and 3D CRT plans (triangles) in (c) and (d). The PTVs are in red and CTVs are in orange (dashed line), the partial body in green-yellow, liver in brown, and heart in purple (dashed line).

하였는데, 더블아크와 제한적인 트리플아크와 멀티플아크이다. 더블아크는 래피드아크에서 일반적으로 사용하는 치료로써 제한적인 트리플아크와 함께 360° 갠트리 회전을 한다. 본 연구의 더블아크에서 갠트리 각도는 반시계 방향인 179~181°와 시계방향인 181~179°를 사용하였고, 콜리메이터 각도는 35~40°를 사용하였다(Fig. 4a). 제한된 트리플아크의 치료계획에서는 아크최적화의 가능한 최대 갠트리 각도가 1000° 이내임을 감안하여 총 갠트리 회전각도가 1000°가 되도록 아크 회전범위를 결정하였다. 이에 갠트리 회전 범위는 더블아크에 더하여 반시계 방향의 179~260°를 사용하고 콜리메이터 각도는 30~40°를 사용하였다(Fig. 4b). 반면에 멀티플아크는 더블아크와 제한된 트리플아크처럼 연속적인 360° 갠트리 회전이 아닌 선택적인 회전 각

도를 사용하는데 본 연구에서는 종양의 위치를 고려하여 갠트리 회전 범위는 반시계 방향 130~300°와 시계방향 300~130°와 시계 방향 135~170°로 선택하였고 콜리메이터 각도는 35~40°를 사용하였다(Fig. 4c). 이와 같이 각기 다른 치료기술에 대한 치료계획을 수행하고 계산된 결과를 통해 각각의 선량분포와 선량부피 히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)을 서로 비교하였다.

2. 선량 최적화를 위한 선량제한치

모든 치료계획에 대해 처방선량으로 한 회당 4 Gy씩 총 36 Gy를 주었다. 그리고 세기조절방사선치료와 래피드아크 치료는 선량 최적화를 위한 표적 및 장기의 선량제한치 (dose constraints)를 동일하게 주어 각 치료계획에서 계산

결과의 선량제한치에 대한 만족도를 평가하였다. 계획한 선량제한치는 CTV에서 $V_{100\%}=100\%$, $V_{>103\%}=0\%$, PTV에서 $V_{98\%}=98\%$, $V_{>103\%}=0\%$ 이고 전체 몸통에서는 103% 이상의 선량이 분포하지 않도록 하였다. 그리고 심장과 간과 부분적 몸통과 같은 종양주변의 장기에 대해서는 개별적인 선량제한치 적용대신 정상조직목표 기능(Normal tissue objective function)을 사용하여 종양 주변 정상조직에서 선량이 감소되는 정도를 일괄적으로 적용하였다. 정상조직목표 기능을 사용함으로써 종양으로부터 거리가 멀어질수록 선량이 감소하여 정상조직 내에 고선량(hot spot)을 피하고 선량레벨을 제한하며 종양 주변에 가파른 선량감소를 이룰 수 있다. 이와 같이 단순하면서 동일한 선량제한치를 사용한 계산 결과에서 PTV에 대한 $V_{<98\%}$ 와 $V_{>103\%}$ 를 평가하고 종양과 종양주변의 정상 조직에서 특정 선량의 분포를 정량적으로 평가하기 위한 다양한 Conformity index (CI)와 Homogeneity index (HI)를 구하여 치료계획의 최적화 결과를 비교하였다.¹⁶⁾ 또한 PTV에 대한 계획한 선량제한치, $V_{98\%}=98\%$ 에 해당하는 SALT그룹이 제안한 $CI=0.98$ 을 동일하게 갖는 선량분포를 구하여 이 선량분포에 처방선량을 주었을 때 각 치료계획의 변화한 DVH를 서로 비교하여 가장 적합한 래피드아크 치료계획에 대해 평가하였다.

결 과

1. 치료기술에 따른 치료계획 비교

Fig. 3은 동일 환자에 대해 총 5개의 치료계획인 3차원 입체조형치료와 세기조절방사선치료와 더블아크와 제한된 트리플아크와 멀티플아크 치료의 선량분포도이다. 각기 다른 치료계획을 수행하고 각각의 치료계획에서 총 선량 분포에 대하여 환자의 몸에서 특정 값이나 지점의 값, 또는 특정 선량퍼센트를 100%로 규격화하지 않고 Eclipse에서 제공하는 기본적인 치료계획규격화(default plan normalization)를 시행하여 100% 선량분포에 처방선량으로 한 회당 4 Gy씩 총 36 Gy를 주었을 때 선량분포와 선량부피 히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)을 서로 비교하였다. 3종류의 래피드아크 치료계획에서는 Fig. 4에서 보여주듯이 표적용적과 심장에서 거의 동일한 DVH를 보였고 부분적 몸통과 간에서는 멀티플아크가 처방선량의 30% 이상의 영역에서 약간 낮거나 동일하고 이하의 선량 영역에서는 가장 낮았다. 한편 3차원입체조형치료와 세기조절방사선치료와 멀티플아크에서는 멀티플아크가 표적용적에서 최소선량이 처방선량에 가장 근접하였으며 손상위험장기

에서는 멀티아크와 세기조절방사선치료가 선량영역에 따라 약간의 차이는 있지만 거의 근접하거나 동일한 DVH를 보였다. 또한 세기조절방사선치료와 래피드아크 치료계획에서 선량 최적화를 위하여 설정한 표적 및 장기의 선량제한치를 기준으로 각 치료계획의 계산 결과가 어느 정도 설정한 선량제한치에 근접하는지 그 만족도를 부피에 기초한 다양한 CI를 이용하여 평가하였다.

균일지수(Homogeneity index, HI)와 Lesion coverage factor (CISALT)가 래피드아크에서 선량제한치에서 설정한 기준치와 가장 근접하였고, 그 외 Quality of coverage (QOC)와 정상 조직 CI를 가지고 종합적으로 평가했을 때 멀티플아크가 선량제한치에서 설정한 기준치에 가장 근접하면서 선량분포가 좋은 것으로 나타났다.

2. 처방선량분포 결정 이후 각 치료계획의 결과 변화

PTV에 대한 계획한 선량제한치, $V_{98\%}=98\%$ 에 따라 SALT 그룹이 제안한 Lesion coverage factor CI_{SALT} 는 0.98이다. 동일한 $CI=0.98$ 을 갖는 선량 레벨을 5개의 각 치료계획에서 구하고 이 선량레벨에 처방선량을 주었을 때 각각의 변화한 DVH를 서로 비교하였다(Fig. 5). 그 결과 각 래피드아크의 DVH는 서로 거의 동일하였고 3차원 입체조형치료와 세기조절방사선치료와 멀티플아크의 DVH 비교에서는 세기조절방사선치료와 멀티플아크에서 손상위험장기가 거의 동일한 값을 가졌고 표적용적에서는 다소 큰 차이를 보였다(Fig. 5).

표적용적의 DVH에 대하여 평가하기 위하여 다양한 CI 및 HI를 이용하여 Table 1과 Table 2에 각각 정리하였다. 각 비교 인자를 종합적으로 평가했을 때 멀티플아크가 표적용적에 대한 처방선량의 포함정도나 용적 내 선량 균일도등 좋은 것으로 나타났다. 또한 처방선량의 처방선량분포에 적용 전과 후에서 모니터 단위 값의 변화를 비교해 보았을 때 환자대상, 부위별로 차이는 있으나, 본 논문에서는 최종 처방선량분포의 적용 후 멀티플아크가 다른 래피드아크 치료기술과 비교하였을 때는 약 130~160 MU 정도 작은 모니터단위 값을 보였고, 기준에 사용 중인 3차원 입체조형 치료 및 세기조절방사선치료 기술과는 약 10~180 MU 정도 작은 모니터 단위 값을 보였다(Table 3).

박혜진 외 4인 : 간암환자를 대상으로 한 래피드아크 치료계획에서 아크수 및 회전범위가 선량분포에 미치는 영향

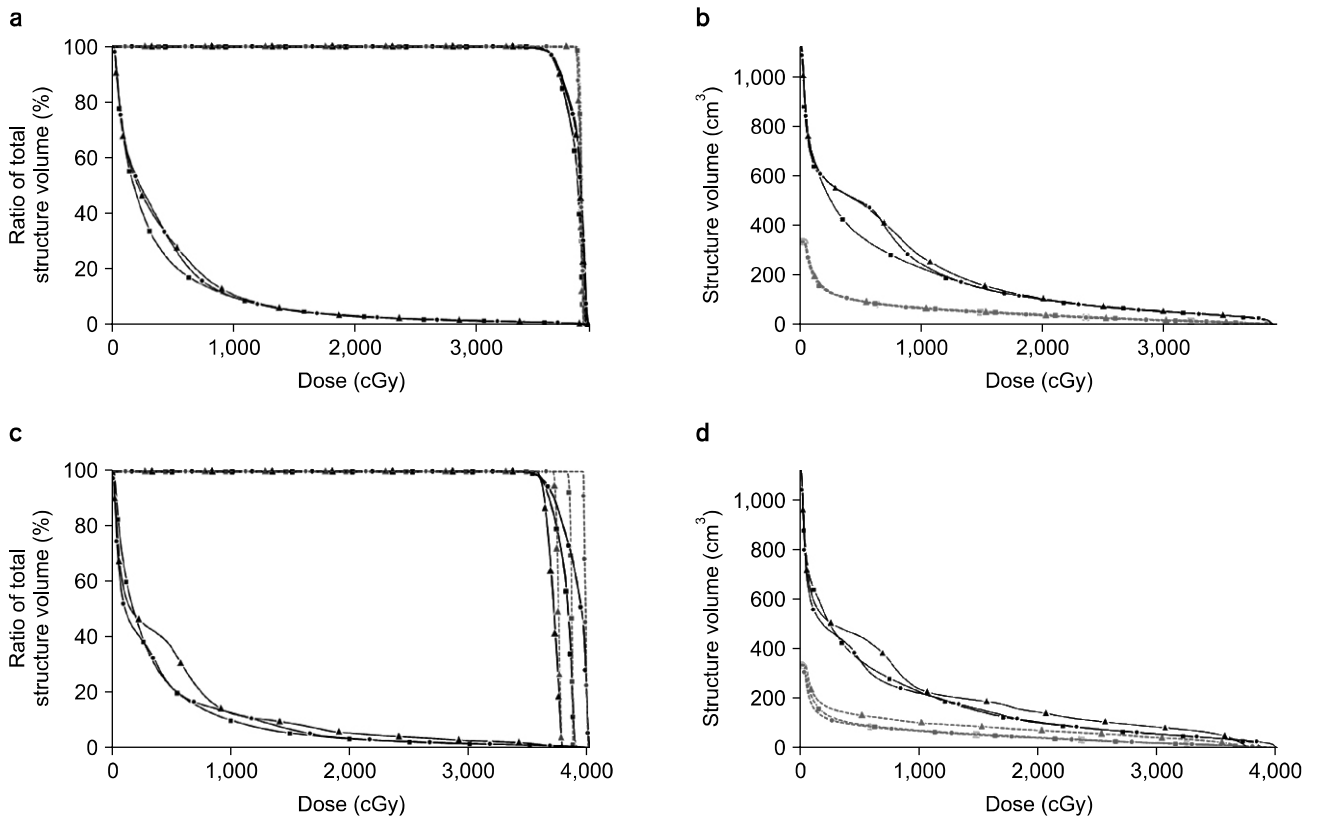


Fig. 5. Comparison of dose-volume histograms (DVHs) for (a) RAs PTVs and partial body plans after prescription, (b) OAR of RAs after prescription, (c) target volume and partial body of 3D CRT vs IMRT vs Multiple arcs plans after prescription, (d) OAR of 3D CRT/IMRT/Multiple arcs plans after prescription. The PTVs are in red and CTVs are orange (dashed line), the partial body in green-yellow, liver in brown, and heart in purple (dashed line).

Table 1. Various index comparison between 3D-CRT, IMRT, RapidArc using dosimetric parameter when default plan normalization were used in Eclipse.

| | Standard of dose constraint | 3D-CRT | IMRT | Double arcs | Limited triple arcs | Multiple arcs |
|------------------------------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------------|---------------------|---------------|
| HI _{RTOG} (I_{max}/RI) | 1.051 | 1.020 | 1.070 | 1.066 | 1.067 | 1.067 |
| QOC _{RTOG} (I_{min}/RI) | · | 0.955 | 0.873 | 0.870 | 0.859 | 0.926 |
| CI _{SALT} ($TV_{98\%}/TV$) | 0.98 | 0.445 | 0.857 | 0.907 | 0.907 | 0.908 |
| CI _{RTOG} ($V_{98\%}/TV$) | · | 0.485 | 0.855 | 0.908 | 0.909 | 0.911 |
| HTCI _{Lomax} ($TV_{98\%}/V_{98\%}$) | · | 0.918 | 1.003 | 0.999 | 0.998 | 0.996 |

I_{max} : maximum isodose in the target, I_{min} : minimal isodose surrounding the target, RI: 98% of prescribed dose (reference isodose), TV: target volume, $TV_{98\%}$: target volume covered by the reference isodose (Lomax and Scheib), $V_{98\%}$: volume of the reference isodose.

고찰 및 결론

래피드아크 치료와 세기조절방사선치료는 치료 시 환자의 위치를 일정하게 고정함과 동시에 종양의 위치도 항상 일정하게 유지하는 것이 무엇보다 중요하다.⁶⁾ 이러한 치료

기법은 두경부암, 전립선암, 뇌종양 등 내부 종양 움직임에 의한 위치 오차가 최소인 부위에 사용하는 것이 적절하다.⁸⁻¹⁴⁾ 따라서 종양이 위치한 내부 장기의 움직임이 많은 간이나 폐에서의 적용에는 많은 제약이 따른다. 특히 래피드아크 치료는 아직까지 호흡추적치료장치와 연동되어 있지 않으므로 호흡에 따라 종양의 위치가 영향을 크게 받는

Table 2. Various index comparison between 3D-CRT, IMRT, RapidArc using dosimetric parameter after prescribing dose to dose level, $I_{PTV=98\%}$.

| | 3D-CRT | IMRT | Double arcs | Limited triple arcs | Multiple arcs |
|-------------------------------------|--------|-------|-------------|---------------------|---------------|
| $I_{PTV=98\%}$ | 94.7% | 93.9% | 95.7% | 95.6% | 96% |
| CI_{RTOG} | 1.385 | 1.064 | 1.013 | 1.013 | 1.024 |
| $CI_{Lomax} (TV_{RI}/V_{RI})$ | 0.708 | 0.921 | 0.967 | 0.967 | 0.957 |
| $HI_{RTOG} (I_{max}/I_{PTV=98\%})$ | 1.056 | 1.117 | 1.092 | 1.094 | 1.090 |
| $QOC_{RTOG} (I_{min}/I_{PTV=98\%})$ | 0.988 | 0.912 | 0.891 | 0.881 | 0.945 |

$I_{PTV=98\%}$: isodose surrounding the 98% of PTV, I_{max} : maximum isodose in the target, I_{min} : minimal isodose surrounding the target, RI: 98% of prescribed dose (reference isodose), TV_{RI} : target volume covered by the reference isodose (Lomax and Scheib), V_{RI} : volume of the reference isodose.

Table 3. MUs for 3D-CRT, IMRT, double arcs, Limited triple arcs and multiple arcs.

| | Number of monitor units (MUs) | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|------|-------------|---------------------|---------------|
| | 3D-CRT | IMRT | Double arcs | Limited triple arcs | Multiple arcs |
| Before prescription | 847 | 668 | 798 | 828 | 674 |
| After prescription (at same CI) | 883 | 712 | 834 | 865 | 702 |

부위에 대해서는 사실상 래피드아크 치료가 부적합하다는 의견이 주를 이루었다. 그러나 최근 래피드아크 치료사용이 증가하면서 래피드아크 치료의 장점인 매우 짧은 선량 전달시간으로 선량전달 동안 환자의 위치 오차뿐만 아니라 내부 장기의 움직임에 의한 오차의 가능성을 감소시킬 수 있다는 것을 내세워 많은 연구자들이 움직임이 있는 부위에도 적용을 하기 시작하였다.¹⁷⁻¹⁹⁾ 본 연구에서는 간암환자 중에서 4차원 컴퓨터모의촬영을 통해 환자의 호흡과 종양이 위치한 간의 움직임을 확인하였다. 그 결과 움직임의 변화가 크지 않은 환자를 대상으로 래피드아크 및 세기조절 방사선치료와 3차원 입체조형치료계획을 시행하였다.

이와 같이 특정 간암환자에 대하여 각 치료기술의 치료계획을 시행하고 그 계산 결과에서 선량분포와 DVH, 등가 균질선량과 종양과 종양주변 정상조직에 대한 다양한 CI를 각각 비교, 분석하여 종양과 주변 정상장기에 분포하는 선량분포가 가장 적당한 치료계획을 유도하고자 하였다. 래피드아크 치료계획을 위해 초기 싱글아크(Single arc)에 대한 최적화만 가능했던 Eclipse 버전 8.1을 통한 싱글아크의 계산 결과는 종양에 대한 선량의 CI는 기존의 세기조절방사선치료보다 좋아지는 반면 종양 내 최고선량이 증가하고, 종양 주변 정상 조직에 저선량이 넓게 분포하는 경향을 보여 세기조절방사선치료와 비교 하였을 때 좋은 선량분포를 얻지 못하였다. 그러나 Eclipse 버전 8.6에서는 래피드아크 계산들을 위한 최적화 알고리즘의 개선으로 여러 아크에 대한 동시 최적화 과정이 가능하게 되어 더블아크와 멀티

플아크에 대해 더욱 효율적인 계산과정을 가지면서 개선된 선량 계산 결과를 얻을 수 있게 되었다. 그 결과 종양 내 좋은 등가균질선량과 선량 CI를 얻을 수 있었고 종양 주변 정상 장기에 대한 저선량의 분포가 감소하여 현저하게 좋은 선량분포를 보여주었다. 이와 같이 싱글아크 보다 더욱 좋은 선량분포를 갖는 더블아크, 멀티플아크 등 다양한 갠트리 회전범위에 따른 래피드아크 치료계획의 결과 비교를 통해 치료계획 시 사용하는 갠트리 회전 범위와 아크 수에 의한 각 래피드아크의 선량 분포에 미치는 영향을 평가하여 적정 선량분포를 얻기 위한 적절한 갠트리 회전범위에 대해 평가해 보고자 하였다. 이를 통해 래피드아크 치료계획이 기존에 보편적으로 사용하던 3차원 입체조형치료와 세기조절방사선치료 보다도 치료 속도가 빠를 뿐 아니라, 훨씬 좋은 선량 분포를 가지고 있으며, 또한 Table 3에서 보여주듯이 작은 모니터 단위 값을 가진다는 것을 알 수 있었다.

아크 수와 갠트리 회전범위에 따른 선량분포에 미치는 영향은 싱글아크에서 더블아크로의 결과에서 상당한 개선을 얻을 수 있어 3차원 입체조형치료나 세기조절방사선치료계획 보다 더 좋은 선량분포에 대한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 더블아크와 래피드아크를 위한 최적화가 가능한 갠트리의 총 회전 범위 1000° 이내의 제한된 트리플아크에서는 선량분포의 결과가 크게 차이가 없었다. 오히려 제한된 트리플아크에서 아크수와 총 회전각도의 증가로 회전 시간이 증가하는 결과를 초래하여 치료시간만 증가한다

는 것을 알 수 있었다. 또한 더블아크와 제한된 트리플아크와는 달리 부분적인 분할 각도를 사용한 멀티플아크 치료 계획을 시행 시 종양에 집중적으로 고선량을 전달하고, 더블아크와 트리플아크 보다 종양 주변 정상장기에 분포하는 저선량이 감소됨을 알 수 있었다. 또한 본 논문에서 평가에 사용한 모든 치료계획 중에서 모니터 단위 값이 가장 작아 선량 전달시간이 가장 짧다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과로 종양이 환자 몸의 중앙에 위치하지 않고 한쪽으로 치우쳐 있는 경우에는 360° 전체 회전을 사용하는 더블아크나 제한된 트리플아크 보다는 종양의 위치에 따라 갠트리 회전 각도를 정하는 멀티플아크를 적용하는 것이 더욱 효율적이라고 보며, 이는 임상에서의 래피드아크 치료의 환자적용에 좋은 기초자료가 될 수 있을 것이라고 사료된다.

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. Korreman 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. Feuvret L, Noel G, Mazon JJ, et al: Conformity index: A review. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 64:333-342 (2006)
17. Benford JL, Hansen VN, Mcnair HA, et al: Treatment of lung cancer using volumetric modulated arc therapy and image avoidance: A case study. *Acta Oncol* 47:1438-1443 (2008)
18. 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)
19. 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)

Effects of Arc Number or Rotation Range upon Dose Distribution at RapidArc Planning for Liver Cancer

Hae-Jin Park^{*†}, Mi-Hwa Kim^{*}, Mison Chun^{*}, Yeong-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 paper, we evaluated the performance of 3D CRT, IMRT and three kind of RA plannings to investigate the clinical effect of RA with liver cancer case. The patient undergoing liver cancer of small volume and somewhat constant motion were selected. We performed 3D CRT, IMRT and RA plannings such as 2RA, limited triple arcs (3RA) and 3MRA with Eclipse version 8.6.15. The same dose volume objectives were defined for only CTV, PTV and body except heart, liver and partial body in IMRT and RA plannings. The steepness of dose gradient around tumor was determined by the Normal Tissue Objective function with the same parameters in place of respective definitions of dose volume objectives for the normal organs. The approach between the defined dose constraints and the practical DVH of CTV, PTV and Body was the best in 3MRA and the worst in IMRT. The DVHs were almost the same among RAs. Plans were evaluated using Conformity Index (CI), Homogeneity Index (HI) and Quality of coverage (QoC) by RTOG after prescription with dose level surrounding 98% of PTV in the respective plans. As a result, 3MRA planning showed the better favorable indices than that of the others and achieved the lowest MUs. In this study, RA planning is a technique that is possible to obtain the faster and better dose distribution than 3D CRT or IMRT techniques. Our result suggest that 3MRA planning is able to reduce the MUs further, keeping a similar or better target dose homogeneity, conformity and sparing normal tissue than 2RA or 3RA.

Key Words: RapidArc, Liver cancer, Double arcs planning, Multiple arcs planning, IMRT