

CORVUS Planning System을 사용한 세기조절방사선치료의 정도관리에 관한 연구

영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

김 성 규

세기조절 방사선 치료는 방사선 치료의 목적인 암 조직에는 더 많은 선량을 조사하면서, 주위 정상조직과 중요 장기에 가능한 적은 선량이 조사되도록 하는 가장 우수한 치료 방법의 하나로 알려져 있어서 이의 임상 적용이 늘어나고 있다. 세기조절 방사선 치료의 특성상, 치료 전과정에서 고도의 정확 정밀성을 요구하고 있다. 따라서 방사선이 치료계획된 대로 정확하게 조사되는지 검증하는 정도관리 과정이 무엇보다도 중요하며 필수적이다. 따라서 세기조절방사선 치료에는 검증과정이 필수적이다. 본 연구에서는 치료 계획 장치인 Corvus system의 정도 관리를 위한 선량 검증 방법을 고안하였으며 이의 유용성을 확인하기 위하여 두경부 부위의 세기조절 방사선치료를 설계하고 이에 관한 정도 관리를 수행하였다. 아크릴 팬텀을 이용하여 필름과 전리함, TLD를 이용한 측정 및 평가를 시행하였다. 필름 측정은 90% 선량분포에서 가로 0.03 cm, 세로 0.28 cm의 차이를 보였고, 전리함 및 TLD를 이용한 측정에서는 치료 계획과 측정치와의 차이가 각각 1%, 1.2%를 보여 이 시스템을 임상에 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

중심단어: 세기조절방사선치료, 정도관리

서 론

방사선치료의 궁극적인 목적이 종양부위에 균등한 치사 선량이 도달되게 하고 병변 부위의 정상조직의 손상을 최소가 되게 하는 것이다. 이러한 목적에 도달하고자 노력한 결과 컴퓨터단층촬영기와 MR의 영상을 치료계획에 이용할 수 있게 되어 3차원 입체조형방사선치료(three dimensional conformal radiation therapy, 3DCRT)를 개발하였다.¹⁻⁶⁾ 더 나아가 중요장기들이 종양부위에 바로 인접하여 있는 경우, 병변부위에 충분한 방사선을 조사할 수 없는 기존의 방사선치료가 갖고 있는 한계를 극복하기 위하여 제시된 하나의 방법으로 조사하는 방향에 따라 방사선의 강도를 조절하게 하며, 조사되어야 할 방사선량과 부위를 결정해 놓고 역으로 치료계획을 수립하여 최적의 선량분포를 얻게 하는 Intensity Modulation Radiation Therapy (IMRT, 세기조절방사선치료)가 1990년 초부터 Memorial Sloan-Kettering

Cancer Center 등^{7,8)}을 중심으로 연구되기 시작하였다.

세기조절방사선치료는⁹⁻¹¹⁾ 기존의 방사선치료에 비해 종양조직에는 더 많은 방사선을 조사하면서, 주위 정상조직과 중요 장기에 더 적은 방사선이 조사되게 하여 종양조직에 총 조사선량을 증가시킴으로 생존율을 높이고자 하는 방사선치료법이다. 그러므로 치료성적의 향상으로 암 환자의 생존율을 증가시키고 삶의 질을 높이는데 기여할 수 있는 이제까지 연구 개발된 방사선치료법 중에서 가장 강력한 치료법이다.

이러한 세기조절방사선치료가 환자에게 적용되기 위해서는 환자의 모의치료에서부터 치료계획, 환자에게 방사선이 조사되는 과정까지 2 mm 이내의 오차를 유지하여야 하는 극도로 정확성을 요구하고 있다. 이러한 정확성의 요구 때문에 환자에게 방사선을 조사하기 전 종양부위와 근접해 있는 중요 장기에 방사선이 치료계획된 대로 정확하게 조사되는지 검증하는 정도관리(Quality Assurance/Quality Control, QA/QC) 과정이 무엇보다도 중요하며 필수적이다. 이 검증 과정이 없이는 환자에게 적용할 수 없는 실정이다. 국내에서 발표된 세기조절방사선치료의 정도관리에 관한 논문에서 Film Dosimetry에 대한 정량적인 확인이 없었다. 이에 본 저자는 두경부암 환자에게 세기조절방사선치료계획을 수립한 것을 정사각형 아크릴 팬텀과 인체모형팬텀과 Film Scanner, TLD 등을 이용하여 환자와 치료의 정확성을

본 연구는 영남대학교의료원 천마의학연구재단의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

이 논문은 2004년 2월 14일 접수하여 2004년 3월 9일 채택되었음.

책임저자 : 김성규, (705-717) 대구시 남구 대명동 317-1

영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

Tel: 053)620-3373, Fax: 053)624-3599

E-mail: skkim@med.yu.ac.kr

확인하여 정도관리를 검증하였으며 아울러 Film Scanner의 정량적인 분석을 시도하여 임상에의 적용에 대한 적합성을 확인하였다.

재료 및 방법

IMRT를 위한 hardware 구성은 Varian 80 Muti Leaf Collimator (MLC)와 EPID가 장착된 21EX 선형가속장치 (Varian, 미국)와 물리적인 인자를 이용한 선량분포 최적화 역계산(Inverse Calculation) 치료계획장치인 CORVUS 시스템(NOMOS, 미국)으로 되어 있다. 정도관리를 실시하기 위한 장치로는 크기가 25 cm×25 cm×25 cm인 아크릴팬텀과 인체모형팬텀을 사용하였으며, 또한 필름 선량분포확인을 위하여 Vidar 16 Film Scanner (Vidar, 독일)을 사용하였고, 530 Electrometer (victreen, 미국)와 0.01 cc ionchamber와 5500 TLD (Harshow, 미국)로 선량을 측정 확인하였다.

1. 치료계획의 정도관리

IMRT를 시행할 환자를 먼저 모의치료기에서 치료할 부위의 기준점을 표시한다. 앞부분과 양옆면의 기준점 세 점을 표시하여 치료계획 컴퓨터단층촬영기 영상을 얻어 팩스를 통하여 IMRT 치료계획장치인 CORVUS 시스템으로 영상을 전송한다. 전송된 영상으로 각각 단면에서 임상종양용적, 치료계획용적, 중요 장기 등을 표시한다. 먼저 임상종양용적의 총선량을 결정하고 중요장기에 조사되는 허용선량을 설정하여 조건에 가장 부합하는 치료계획을 찾는다. 총선량과 중요 장기의 허용선량에는 조사되는 최대선량과 총선량보다 적게 조사되는 허용 부피와 최소선량 등의 선량제한인자에 따라 치료문수를 증감해가며, 치료 각도를 달리해가며 각각 횡단면 영상과 종단면 영상과 수직면 영상에서의 선량분포 및 선량체적 히스토그램 등을 검토하여 최적의 치료계획을 찾는다. 결정된 치료계획에 대하여 모든 조건들을 다시 재검토하며 치료할 것을 결정하게 되며, 치료가 결정된 환자에 대해서 모의치료영상과 치료계획장치에서의 디지털화재구성사진과 치료기에서의 치료확인영상(L-gram)을 비교하여 정확하게 기준점이 일치하는지 확인한다. 그 다음으로 치료계획된 대로 선량이 조사되는지, 부위에 따라 조사되는 선량이 정확한지 확인하는 정도관리를 시행하게 된다. 본 정도관리에 사용된 세기조절방사선치료계획은 8분 조사로 갱트리 각도는 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280, 320이였으며, 각각 치료에 대한 M.U.는 84, 107, 115, 77, 132, 109, 96, 82였다.

2. 치료정보의 전달에 관한 정도관리

통상적인 치료계획에서의 치료정보는 한 치료면적에 대해서는 같은 방사선세기의 fluence를 가지기 때문에 치료면적의 일치성만 확인하는데 비해 세기조절방사선치료에서는 각 빔마다 1 cm×1 cm되는 선소의 세기정보, 즉 fluence map를 가지기 때문에 치료계획에서의 fluence map과 실제 치료에서 다엽시준기의 구동이 치료계획된 대로 움직이는지 fluence map에 대한 정도관리를 시행하여 조사되는 선량부위의 정확성을 확인하여야 한다. 다음으로 행한 정도관리는 부위의 조사선량의 정확성을 확인하기 위하여 25 cm×25 cm×25 cm 크기의 아크릴 팬텀과 인체모형팬텀에 대하여 조사되는 선량을 이온챔버와 TLD를 측정하여 비교한 하였다.

3. 치료전달 과정에 대한 정도관리

세기조절방사선치료계획을 실제 환자에게 적용하는 과정이다. 세기조절방사선치료는 앞에서 언급한 것처럼 선소 하나하나의 정보에 의하여 수백 개의 선소가 치료부위에 조사되는 것이므로 환자의 정확한 set-up은 치료할 때마다 필수적으로 확인하여야 하며, 환자의 정확한 set-up이 무엇보다도 중요한 정도관리이다. 그러므로 치료계획 정도관리에서 모의치료기기의 영상과 치료기기의 DRR 영상을 기준으로 하여 매 치료 때마다 환자 자세를 확인하여야 한다. 환자의 정확한 set-up은 DRR의 영상을 통하여 확인할 수 있지만, 치료선량이 fluence map 대로 조사되었는지에 대한 정도관리는 확인할 방법이 없다. 앞으로 이 부분에 대한 정도관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

결과 및 토의

1. 치료계획의 정도관리

치료계획의 정도관리를 시행한 결과 세기조절방사선치료계획이 결정된 환자에 대한 모의치료기에서의 영상과 치료계획장치에서의 컴퓨터단층촬영기 영상과 치료기에서의 DRR 영상을 비교하여 정확하게 기준점이 일치하는지 확인한 결과 1 mm의 오차를 보였으며(Fig. 1), Fig. 2는 두경부암 환자의 세기조절 방사선치료계획에 대한 횡단면, 평단면, 수직면에 대한 선량분포를 나타내며, Fig. 3은 임상종양용적과 이하선, 척수 등 중요장기에 대한 선량체적 히스토그램을 나타내고 있다. 여기서 a는 임상종양용적을 나타내며, b는 척수, c는 이하선을 나타내고 있다.

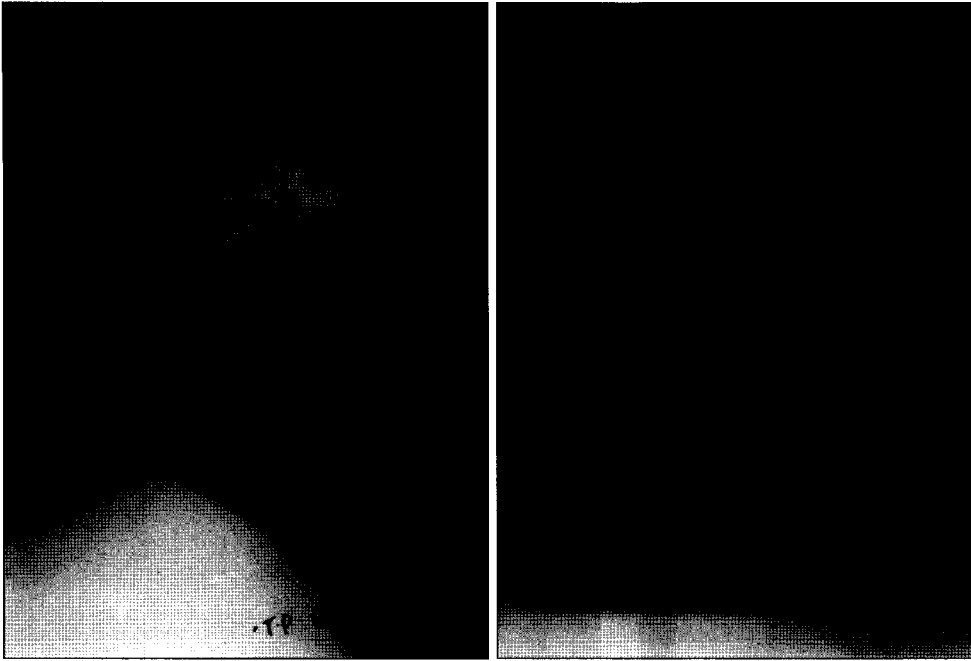


Fig. 1. Simulation film image and DRR image.

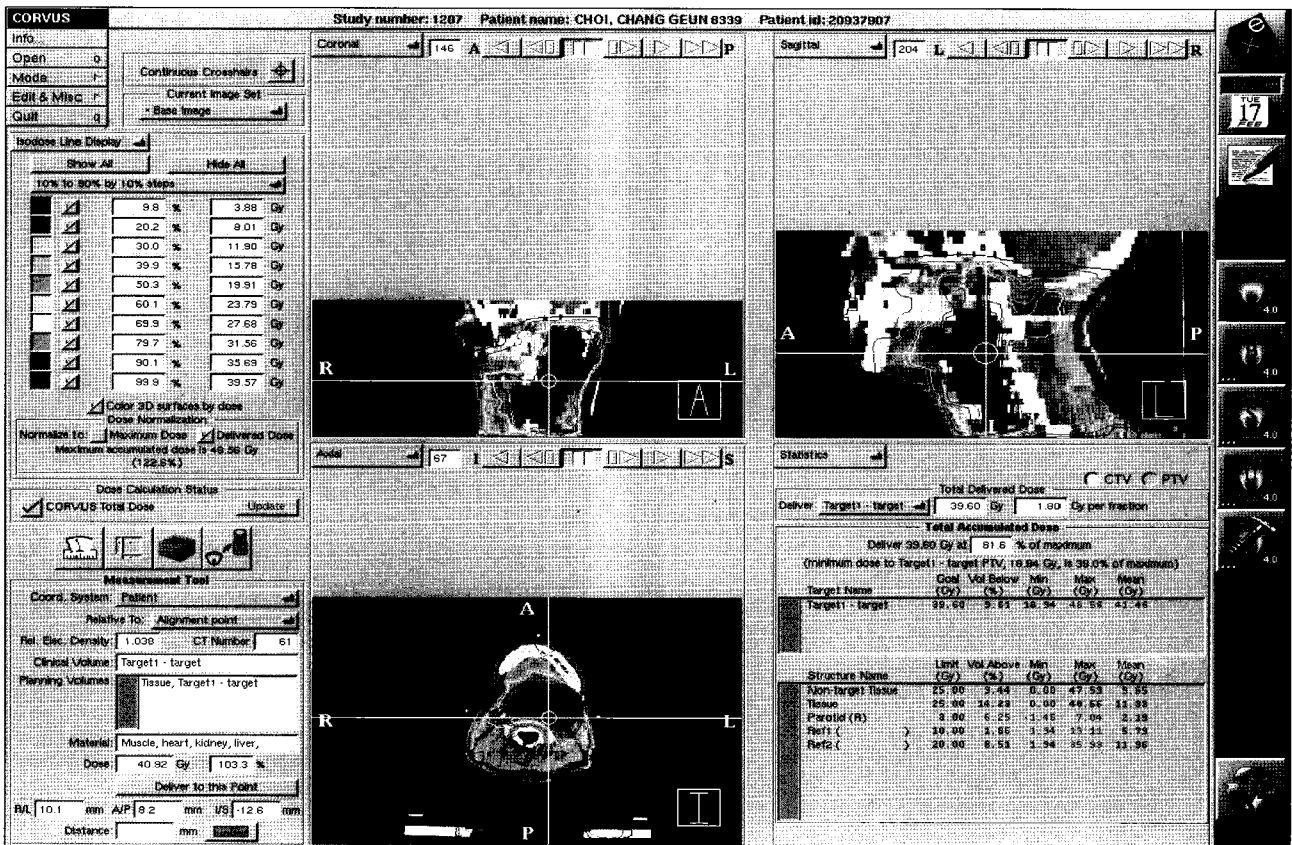


Fig. 2. IMRT planning result of Head & Neck case.

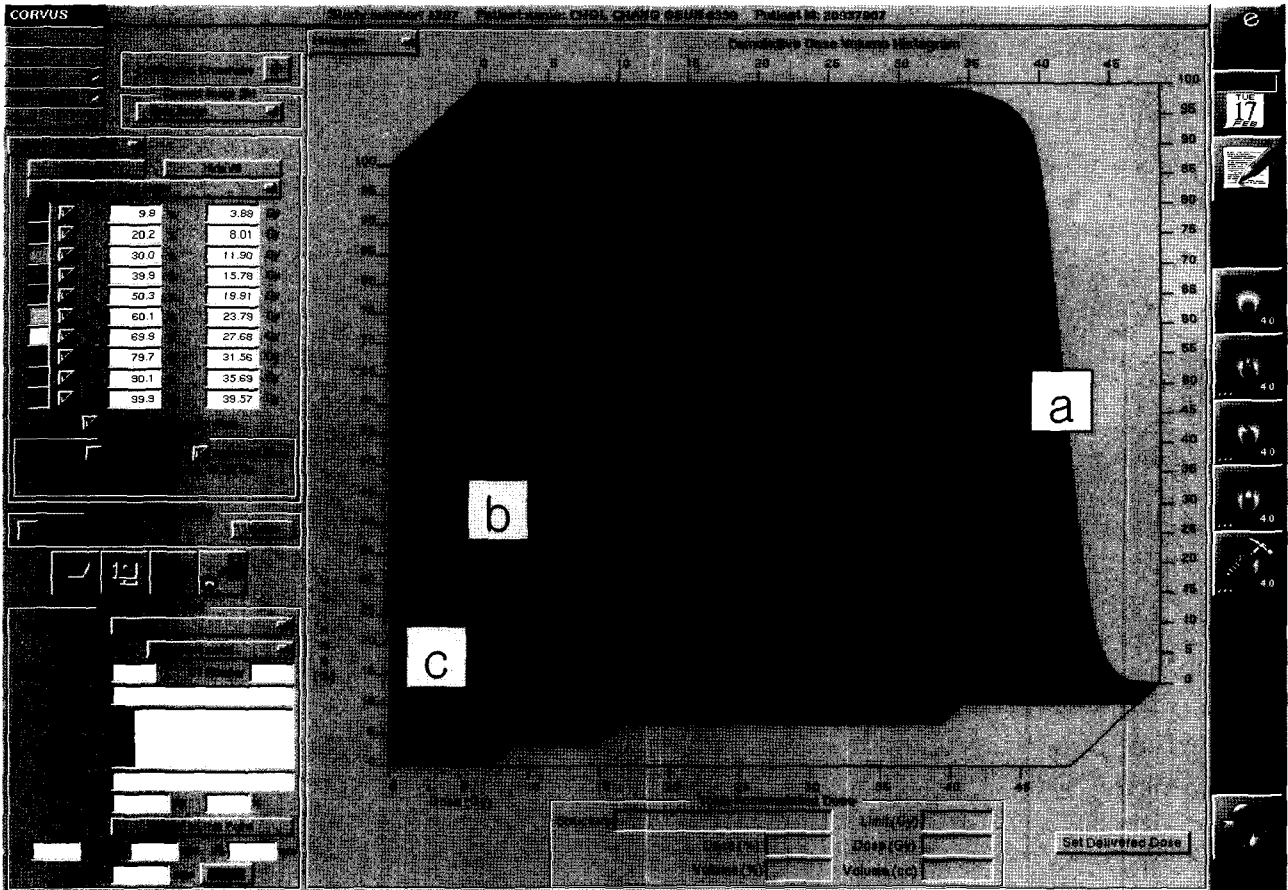


Fig. 3. Dose volume histogram of IMRT planning. (a) PTV, (b) Spinal cord, (c) Parotid gland.

2. 치료정보의 전달에 관한 정도관리

치료정보의 전달에 관한 정도관리를 시행한 결과 치료계획에서의 fluence map과 실제 치료에서 다엽시준기의 구동이 치료계획된 대로 움직이는지 fluence map에 대한 정도관리를 시행하여 조사되는 선량부위의 정확성을 확인한 결과 각각 segment에 대하여 치료계획의 fluence map과 film으로 조사한 실제 치료된 fluence map의 위치가 일치하며, 조사된 선량의 밀도의 강약도 정확하게 일치하였다(Fig. 4). 치료계획 컴퓨터단층촬영영상의 기준 평면에 대하여 치료계획에서의 선량분포(Fig. 5a)을 QA 아크릴 팬텀의 치료계획으로 변환한 선량분포(Fig. 5b)와 인체모형팬텀의 기준평면에서의 선량분포(Fig. 5c)를 나타내고 있으며, QA 아크릴 팬텀의 기준 평면에 필름을 삽입하여 조사된 측정선량분포와 측정선량을 Densitometer로 scan한 선량분포(Fig. 6)를 나타내고 있다. 여기서 Fig. 5b와 Fig. 6의 90% 선량분포를 비교분석한 결과 가로의 길이가 8.04 cm, 8.01 cm를 나타내어

가로 0.03 cm의 오차를 보였으며, 90% 선량분포의 세로길이 비교에서 12.50 cm, 12.22 cm를 나타내어 0.28 cm의 오차를 보였다(Table 1). 참고로 인체모형팬텀에서 90% 선량분포를 측정된 결과 가로 8.03 cm, 세로 12.28 cm를 나타내어 세기조절방사선치료의 정도관리에서 좀더 많은 부위에서의 비교가 필수적이지만 인체모형팬텀도 훌륭한 팬텀이 될 수 있음을 시사하였다. 그 외에도 7명의 환자를 대상으로 QA 팬텀의 평단면에 대한 계산치와 측정치의 비교에서 가로는 0 cm에서 0.2 cm의 차이를 보여 평균 1.57%의 오차를 보였으며, 세로는 0 cm에서 0.2의 차이를 보여 평균 1.64%의 오차를 보였다(Table 2). 또한 선량기울기가 완전한 기준점에서 lateral로 0.1 cm, posterior로 0.02 cm, in으로 1.3 cm 이동한 특정 비교점에서 세기조절 방사선치료계획을 QA 아크릴 팬텀으로 옮겨 계산된 계산치가 1.50 Gy였으며, 같은 조건으로 QA 아크릴 팬텀을 설치하여 측정된 선량은 1.485 Gy였으며, TLD에서의 측정치는 1.483 Gy였다. 측정치의 비교에서 이온챔버와 TLD에서 각각 1.0%,

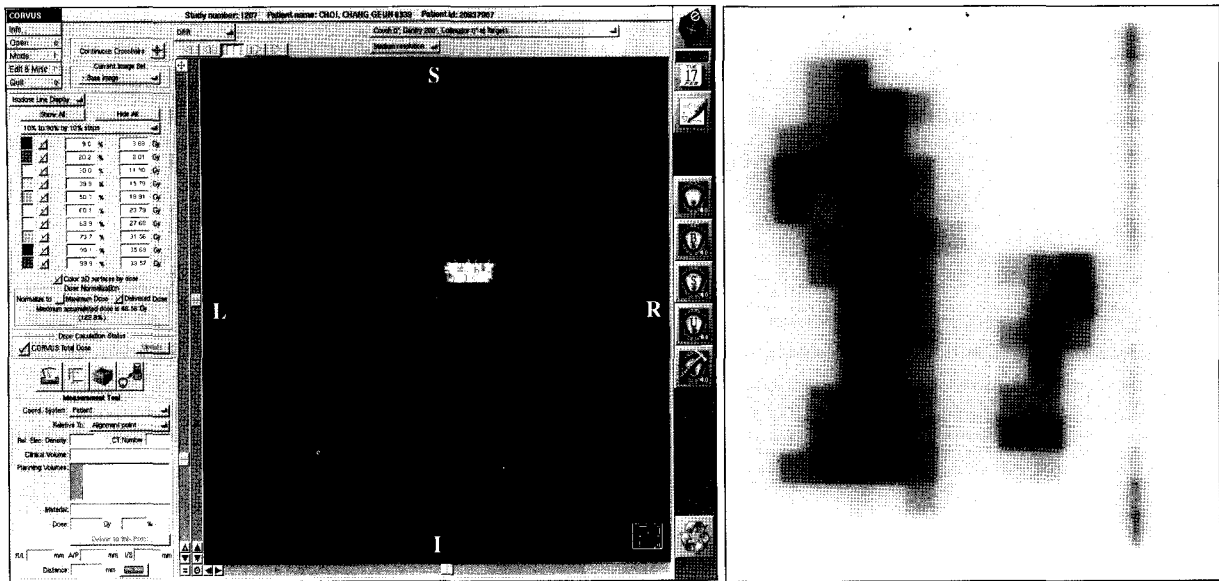


Fig. 4. Comparison of the beam pattern from RTP system and that from the film dry run.

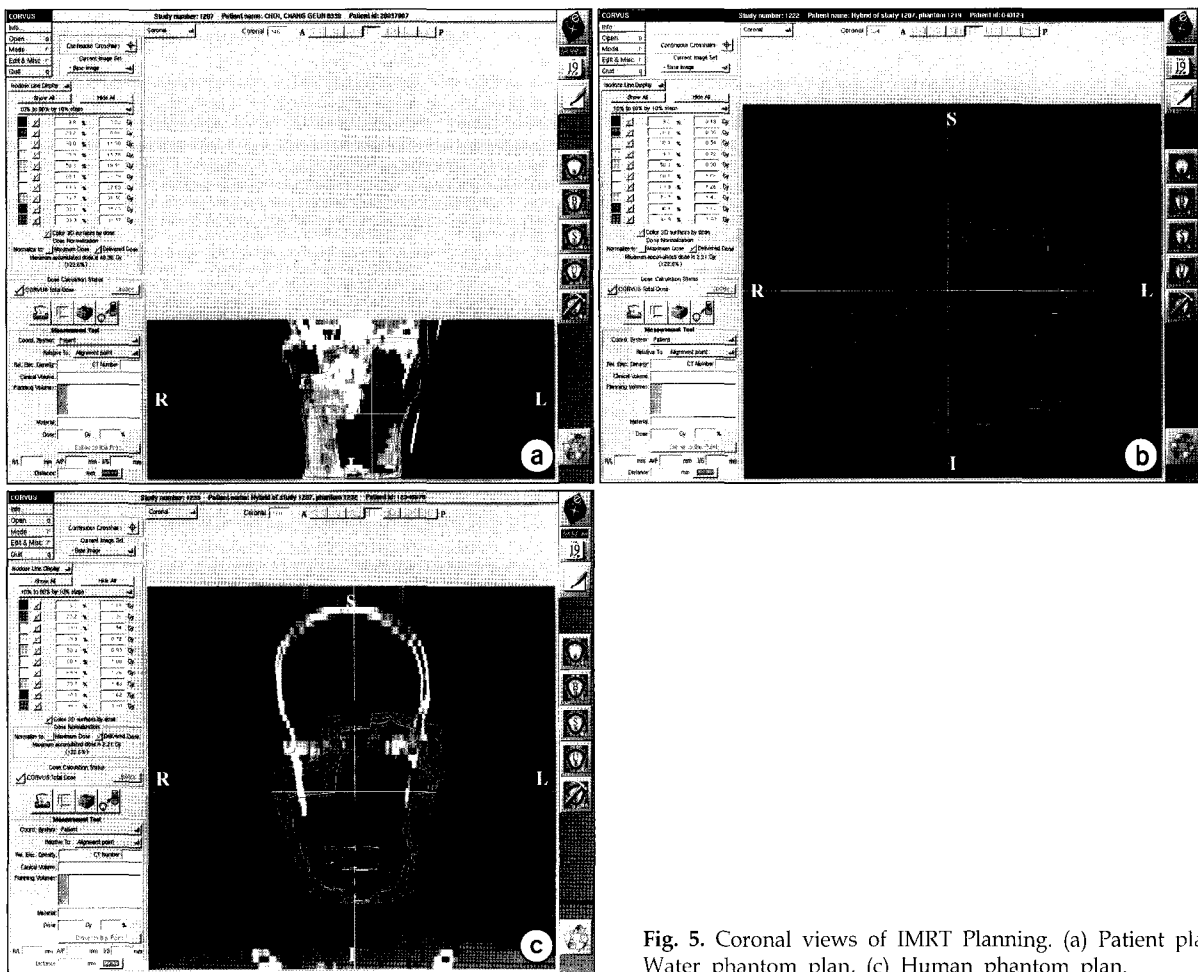


Fig. 5. Coronal views of IMRT Planning. (a) Patient plan, (b) Water phantom plan, (c) Human phantom plan.

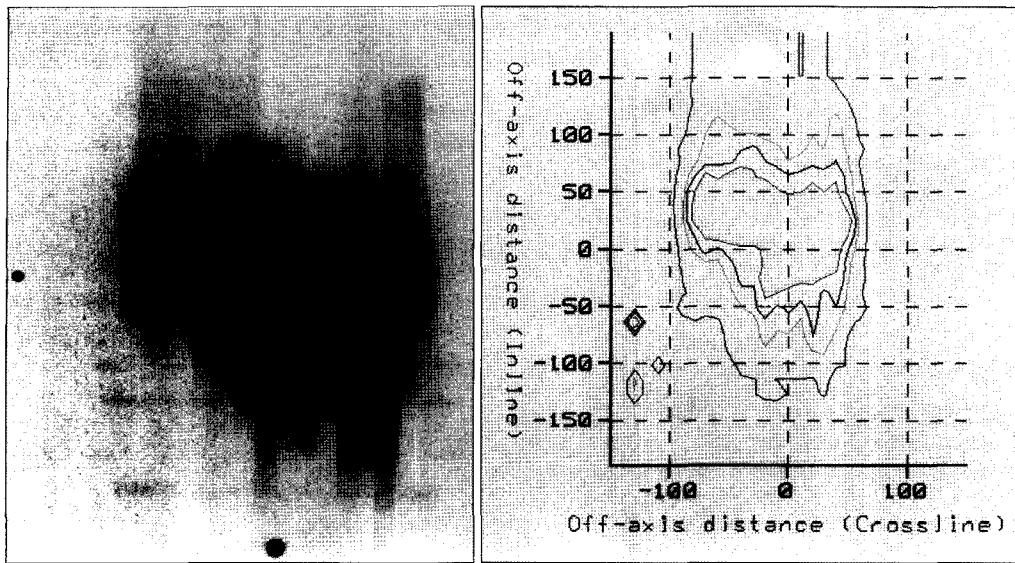


Fig. 6. Film of IMRT phantom planning dosimetry for coronal plane.

Table 1. Comparison of 90% isodose distribution.

	Width (cm)	Length (cm)
Treatment planning	8.04	12.50
Acrylic phantom	8.01	12.22
Rando phantom	8.03	12.28

1.2%의 차이를 보였다.

3. 치료전달 과정에 대한 정도관리

치료전달 과정에 대한 정도관리를 치료계획 정도관리에서 모의치료기기의 영상과 치료기기의 디지털화재구성사진 영상의 비교에서 매 치료 때마다 환자의 정확한 set-up을 치료면적의 중심점에서 비교해본 결과 1 mm의 오차를 보이며 정확하게 일치한 상태에서 치료가 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

세기조절방사선치료를 하기 위해서 필수적으로 충족되어야 할 사항은 다음과 같다.¹²⁾ 첫째, 선량분포가 종양일체형이 되어야 하며 고선량 범위 내에 중요 장기가 제외되어야 하며, 둘째, 조사면적이 표시되는 컴퓨터단층촬영 영상의 여러 장을 연속 스캔하여 이 영상들을 디지털화재구성을 통한 방사선조사 방향에서 해부학적 구조와 종양의 형태가 공간적으로 표현되어야 하며, 셋째, 치료부위와 방사선민감장기에 대한 조사면의 최적화 영역 결정이 이루어져야 하며, 넷째, 종양부위 내에 균등한 선량이 조사되어야 하며, 다섯째 치료계획대로 치료되었는지 확인할 수 있는

Table 2. Comparison of 90% isodose distribution in calculation value and measurement value.

	Treatment plan (cm)		Measurements (cm)	
	Width	Length	Width	Length
Patient 1	10.2	5.7	10.4 (1.9%)	5.8 (1.7%)
Patient 2	9.6	9.6	9.8 (2.0%)	9.8 (2.0%)
Patient 3	7.1	4.4	7.2 (1.4%)	4.4 (0%)
Patient 4	7.4	6.0	7.5 (1.3%)	6.1 ((1.6%)
Patient 5	4.2	6.1	4.2 (0%)	6.2 (1.6%)
Patient 6	10.7	8.1	10.9 (1.8%)	8.3 (2.4%)
Patient 7	7.5	4.4	7.7 (2.6%)	4.5 (2.2%)
			(1.57%)	(1.64%)

모의치료영상의 필름과 치료기에서 치료확인영상의 필름을 비교하여야 하며, 특정점에서 선량측정을 점검할 수 있는 정도관리 시스템이 있어야 한다.

그러므로 고식적인 방사선치료의 치료계획에 비해 세기조절방사선 치료계획은 의학물리학자의 치료계획에 대한 아이디어가 훨씬 더 강력하게 적용되며, 세기조절방사선치료는 의학물리학자들의 치료계획에 대한 노력과 아이디어에 따라서 발전의 방향과 폭이 결정될 것이며, 또한 얼마만큼 치료계획된 대로 치료가 이루어질 것인가의 정도관리의 정확성에 의하여 치료의 성패가 좌우된다.

조¹³⁾와 장 등¹⁴⁾은 치료계획 정도관리에 포함되어야 할 내용으로 선량제한인자 검토, 다엽시준기 sequence file 작성, 팬텀 플랜, 팬텀 플랜 확인 측정, 기준점선량 비교 측정

들을 고려하여야 한다고 주장하고 있으며, 치료정보 전달 정도관리에서는 모의치료영상과 sequence image의 확인, 모의치료영상과 beam pattern의 비교, sequence image와 RTP의 비교, Dry run과 모의치료영상의 비교, 모의치료영상과 치료부위의 중심점 비교 등을 고려하여야 주장하고 있으며, 치료전달 과정 정도관리는 Localization image verification, verification image와 모의치료영상의 비교, leaf sequence의 verification 등을 고려하여야 한다고 주장하고 있다.

Mayer 등¹⁵⁾은 세기조절방사선치료의 정도관리에서 필름 선량분포 측정에서 1 mm의 선량기울기 위치에서 상대선량의 오차가 5% 이내이어야 한다고 주장하고 있다.

vanBattum 등¹⁶⁾은 세기조절방사선치료의 정도관리에서 이온챔버나 TLD의 선량측정에서 한점의 측정비교로는 부족하며, 가능한 한 여러 점을 측정하여 비교하는 것이 바람직하다고 주장하고 있다.

Karrin 등¹⁷⁾은 치료계획과 측정치의 90% 선량분포를 비교하여 3 mm 이내의 오차를 가져야 하고, 90% 이상이 되는 부피는 5~8% 미만이어야 한다고 주장하고 있다

결 론

세기조절방사선치료계획의 정도관리와 치료정보의 전달에 관한 정도관리와 치료전달 과정에 대한 정도관리를 직접 환자를 대상으로 확인한 결과 본 병원이 사용하고 있는 역방향 세기조절방사선치료계획장치인 CORVUS 시스템 치료계획과 21 Ex 선형가속기에서의 치료에 대한 정도관리가 잘 일치함을 볼 수 있었고, 선량 전달에 있어서도 특정점에서의 계산선량과 측정선량이 1% 정도의 오차를 나타내었으며, 평단면의 계산치와 측정치의 90% 선량분포의 비교에서도 0.28 cm 정도의 오차를 나타내어 정도관리를 통한 기술의 정확함을 확인할 수 있어서 안전하고 정확한 환자치료의 적용을 유도할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Bortfeld T, Kahler DL, Waldron TJ, Boyer AL: X-ray field compensation with multileaf collimators. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 28:723-730 (1994)
2. Brahme A: Optimization of radiation therapy and development of multi-leaf collimation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*

- 25:373-373 (1993)
3. Bortfeld T, Burkelbach J, Boesecke R, Schlegel W: Method of image reconstruction from projections applied to conformation radiotherapy. *Phys Med Biol* 35:1423-1434 (1990)
4. Brahme A: Optimization of radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 28:785-787 (1994)
5. Jackson A, Kutcher GJ, Yorke ED: Probability of radiation induced complications for normal tissues with parallel architecture subject to non-uniform irradiation. *Med Phys* 20:613-625 (1993)
6. Kutcher GJ, Burman C: Calculation of complication probability factors for non-uniform normal tissue radiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 16:1623-1630 (1989)
7. Convey DJ, Rosenbloom ME: The generation of intensity modulated fields for conformal radiotherapy by dynamic collimation. *Phys Med Biol* 37:1359-1374 (1992)
8. Brahme A, Roos J, Lax I: Solution of an integral equation encountered in radiation therapy. *Phys Med Biol* 27:1221-1229 (1982)
9. Mohan R, Wang X, Jackson A: The potential and limitations of the inverse radiotherapy technique. *Radiother Oncol* 32:232-248 (1994)
10. Bortfeld T, Boyer AL, Schlegel W, Kahler DL, Walden TJ: Radiation and verification of three-dimensional conformal radiotherapy with modulated fields. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 30:899-908 (1994)
11. Xing L, Chen G: Iterative methods for inverse treatment planning. *Phys Med Biol* 41:2107-2123 (1996)
12. Webb S: Intensity-Modulated Radiation Therapy. *IoP* pp10-14, 2001
13. Cho BC, Park SW, Oh DH, Bae HC: Quality assurance for intensity modulated radiation therapy. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol* 19:275-286 (2001)
14. Yoon SM, Yi BY, Choi EK, Kim JH, Ahn SD, Lee SW: Quality assurance of patients for intensity modulated radiation therapy. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol* 20:81-90 (2002)
15. Mayer R, Williams A, Frankel T, Cong Y, Simons S, Yang N, Timmerman R: Two-dimensional film dosimetry application in heterogeneous materials exposed to megavoltage photon beams. *Med Phys* 24:455-460 (1997)
16. VanBattum LJ, Heijmen BJ: Film dosimetry in water in a 23MV therapeutic photon beam. *Radiother Oncol* 34:152-159 (1995)
17. Kaurin DGL, Maryanski MJ, Duggan DM, Morton KC, Coffey CW: Use of MRI based polymer gel dosimetry, pelvic phantom, and virtual simulation to verify set-up and calculated three-dimensional dose distribution for a prostate treatment. *Proc. 1st Int. Workshop on Radiation Therapy Gel Dosimetry*. 184-186 (1999)

Quality Assurance of CORVUS Planning System for Intensity Modulated Radiation Therapy

Sung Kyu Kim

Department of Therapeutic Radiology & Oncology,
College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, South Korea

The intensity modulated radiation therapy (IMRT) is believed to be one of the best treatment techniques for the goal of radiation therapy: to irradiate fatal dose to tumor region while minimizing dose to critical organs. It is essential to have comprehensive quality assurance program to assure the precision and the accuracy of the treatment due to the characteristic of the IMRT. The quality assurance technique for the Corvus treatment planning system was developed and its effectiveness was tested with the treatment planning of H&N region. Acrylic phantom, film and ionization chamber were used for this study. The discrepancy between the treatment planning and the film measurements showed 0.03 cm and 0.28 cm for the 90% of isodose line in each directions. Dose measurements showed 1% and 1.2% differences for ionization chamber and TLD, respectively. This concluded that the system can be used for clinic.

Key Words: Intensity modulated radiation therapy (IMRT), Quality assurance