

Optimal Radiation Port Arrangements for Hepatic Tumor using 3-dimensional Conformal Radiotherapy Planning

Ik Jae Lee · Jinsil Seong · Su Jung Shim ·
Kyoungkeun Jeong · Kwang Hwan Cho*

Department of Radiation Oncology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea.

*Department of Radiation Oncology,

Sunchunhyang University College of Medicine, Buchon, Korea

3차원입체조형방사선치료 계획 시 간종괴의 위치에 따른 최적 조사 방향의 결정

이익재 · 성진실 · 심수정 · 정경근 · 조광환*

연세대학교 의과대학 방사선종양학과, *순천향대학교 의과대학 방사선종양학과

(2006년 8월 8일 접수, 2006년 9월 13일 채택)

Abstract - The purpose of this study was to investigate the optimal beam arrangements for hepatic tumors, according to the location of the hepatic tumor and its relationship to organs at risk (OARs). The virtual gross tumor volumes were divided into four groups according to the Couinaud's classification. Several plans were made for each virtual target, and these plans were compared for the normal tissue complication probabilities (NTCP). For group I, NTCP improved as the number of the beam ports increased. However, plans with more than 5 ports had little advantage. For group II, plans with the beam directions from the anterior side showed better results. Group III contained many OARs near the target, which placed restrictions on the beam-directions. Multi-directional plans yielded a higher dose to the OARs than a simple two-port plan using right anterior oblique and posterior beam (RAO/PA). For group IV, a simple RAO/PA port plan was adequate for protection of remaining liver. NTCP can significantly vary between radiotherapy plans when the location of the tumor and its neighboring OARs are taken into consideration. The results in this study of optimal beam arrangements could be a useful set of guidelines for radiotherapy of hepatic tumors.

Key words : *Hepatocellular carcinoma, normal tissue complication probability, Conformal radiotherapy*

요약 - 본 연구는 간암 환자의 방사선치료 시에 정상 조직과 간암의 위치에 따른 적절한 조사 방향을 찾고자 하였다. 간암의 위치는 Couinaud에 의한 분류법을 이용하여 4군으로 나누었고, 각 군의 용적을 가상의 표적 용적으로 정해서 여러 개의 방사선 치료계획을 세워 정상조직합병증발생률(normal tissue complication probability, NTCP)을 비교하였다. 그룹 I에서는 조사 수를 늘릴수록 정상 간의 NTCP가 감소되었으나 6개 이상부터는 일정하였다. 그룹 II에서는 PA(posterior to anterior) 조사가 추가 되었을 때 정상 간의 NTCP가 증가하였다. 그룹 III는 표적용적 주변에 정상조직이 많아 조사 방향의 설정에 어려움이 있었고 여러 방향에서의 조사 보다는 RAO(right anterior oblique)와 PA를 이용한 2개의 조사만이 시행되었을 때 정상 간의 NTCP가 가장 낮았다. 그룹 IV에서도 RAO와 PA의 2개 조사로 이루어진 치료계획에서 정상 간

의 NTCP가 가장 낮았다. 본 연구를 통해 간암의 방사선 치료계획 시 간암의 위치와 정상조직의 위치에 따라 NTCP가 다양하게 나타남을 알 수 있었고, 간암의 방사선치료 계획 시 최적 조사 방향의 설정을 통해 임상적으로 방사선치료를 적용하는 데 유용한 지침이 될 수 있을 것으로 생각된다.

중심어 : 간암, 정상조직합병증발생률, 입체조형방사선치료

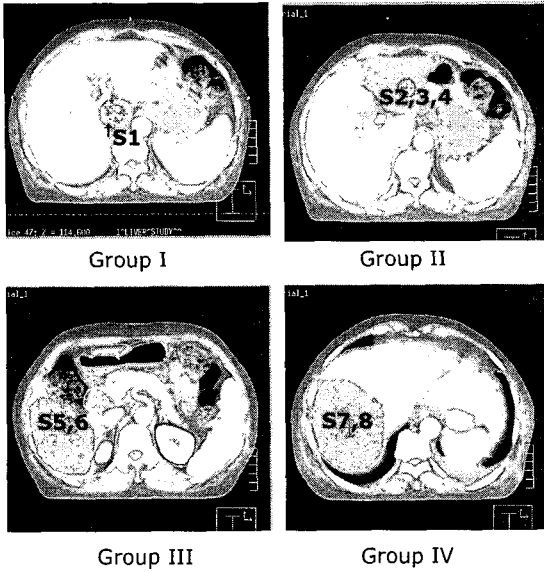
서 론

간암에 대한 방사선치료는 전체 간에 대한 방사선의 허용선량이 높지 않았기 때문에 방사선치료에 적극적이지 못했다[1,2]. 그러나 최근의 문헌들에서 간의 일부 용적만 국소적으로 방사선치료를 시행하였을 때 합병증을 증가시키지 않으면서 효과적으로 방사선치료를 할 수 있다고 보고하였다[3-9]. National Comprehensive Cancer Network (NCCN)에서 규정하고 있는 간암에 대한 방사선치료의 치료지침은 수술이 불가능하거나 수술을 거부한 환자들에서 선택적으로 시행할 수 있다고 기술되어 있다. 대한간암연구회에서는 2004년에 발표한 '간암의 진단과 치료 지침'에서 방사선치료는 원격전이 없는 국소진행성으로서, 간암의 용적이 간 전체 용적의 2/3를 넘지 않고, 간경변의 진행정도는 Child-Pugh class A 또는 B인 환자들에서 시행할 수 있다고 규정하였다[10].

최근 3차원 입체조형방사선치료(3-dimensional conformal radiotherapy, 3D-CRT)나 강도변조방사선치료(intensity modulated radiotherapy, IMRT) 기술의 발달로 정상조직에는 방사선 선량을 감소시키면서 종양부위에 집중적으로 방사선치료를 시행할 수 있게 되었다. IMRT가 도입되면서 많은 종류의 종양에서 IMRT가 시행되고 있으나, 간암은 호흡에 따른 간의 움직임을 고려해야 하는 문제가 있기 때문에 최근까지도 3D-CRT가 시행된 문헌들이 대부분이다[8,11-13]. 3D-CRT를 이용하여 폐나 췌장, 전립선과 같이 다른 장기에서 발생한 암에서는 주변의 정상 장기를 고려한 최적의 방사선치료 계획을 하고자 하는 연구들이 있었다[14-17]. 그러나 간암에 대해서는 아직 보고되어 있는 것이 없고, 간의 해부학적 구조도 특이하기 때문에, 간암에서 종양과 정상조직의 위치들을 고려하여 가장 적절한 방사선조사 방향의 설정을 알아보는 것이 필요하다고 생각되어 본 연구를 시행하였다.

재료와 방법

방사선치료 계획의 대상은 43세의 건강한 간을 가지고 있는 남자 환자의 치료계획용 컴퓨터단층촬영(PQ5000, Philips Medical System, Best, Netherlands)을 이용하였다. 육안적 종양 체적(gross tumor volume, GTV)은 Couinaud[18]이 간을 혈류와 담즙 배출의 주행 방향에 따라 나눈 8개의 구획(segment)을 기준으로 아래와 같이 4개의 그룹으로 나누어, 각 그룹의 용적을 GTV로 지정하였다. 그룹 I은 구획 1을 포함한 용적으로 가장 드물게 발생하는 영역이면서 수술이 어려운 곳이다. 그룹 II는 구획 2-4까지를 포함한 용적으로 좌엽에 해당되는데, 이곳은 특히 위(stomach)가 가깝게 위치한다. 그룹 III와 IV는 우엽에 해당되는 용적으로 호흡에 따라 움직임이 커질 수 있다. 그룹 III는 구획 5-6으로 우엽의 상방으로 폐와 가까이 있고, 그룹 IV는 구획 7-8이 포함된 우엽의 하방으로 대장이 가까이 위치한다. 방사선치료 계획을 위하여 방사선 치료계획 시스템인 Pinnacle3 (The Philips Medical System, Best, Netherlands)를 이용하여 GTV의 윤곽을 그렸고, 신장, 정상 간(remaining liver), 위, 십이지장과 같은 정상조직의 윤곽도 그렸다(Fig. 1). 정상 간은 간 전체용적에서 GTV를 제외한 용적으로 정의하였다. 방사선 치료계획은 자세의 위치 오차와 장기의 움직임을 고려하여 GTV에 1.5 cm의 여유를 두어 설정하였고, 조사 방향은 정상조직을 최대한 보호할 수 있게 하였다. 각 그룹에서 4개의 치료계획을 만들어 비교하였고, 치료계획의 비교는 정상조직합병증발생률(normal tissue complication probability, NTCP; Fig. 2B-5B)을 이용하였다. 방사선 선량은 본원에서 정한 치료지침에 따라 그룹 I에서 III까지는 GTV에 63 Gy, 그룹 IV는 54 Gy를 중심점(isocenters)에 100%로 처방하여 치료계획을 세웠다[13]. NTCP는 Lyman의 NTCP 모델이 사용되었고, 아래의 수식을 이용하였다[19].



† Segment

Fig. 1. The grouping of virtual gross tumor volume was determined by Couinaud's classification.

$$NTCP = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt$$

$$V = V/V_{ref}$$

$$t = [(D - TD_{50}(v)) / (m \times TD_{50}(v))]$$

$$TD50(1) = TD50(v) \times V^{-n}$$

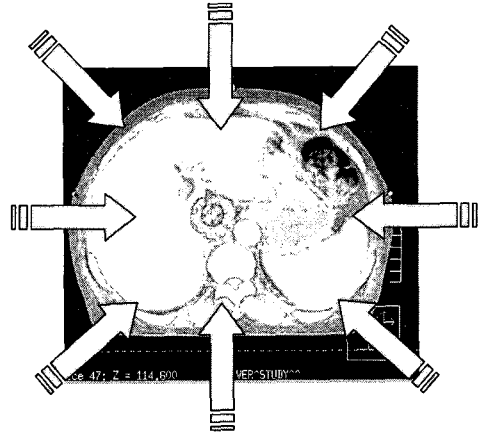
TD₅₀(v)는 부분적인 용적인 "v"에 균일하게 조사되는 전체 허용 방사선 선량의 50%를 말한다. "n"은 용적 효과를 나타내는 요소이며, "m"은 선량-후유증 곡선(dose-complication curve)의 기울기를 나타내고, 불균질의 선량분포를 등가균질 선량(equivalent uniform dose, EUD)으로 바꾸어 주기 위해 Kutcher and Burman[20]의 'effective volume method'가 사용되었다.

결과와 논의

그룹 I

GTV는 51 cm³으로 측정되었고 정상 간과 위 의 용적은 각각 1,248과 254 cm³이었다. Box technique부터 7개까지 조사 수를 늘려서 치료계

(A)



(B)

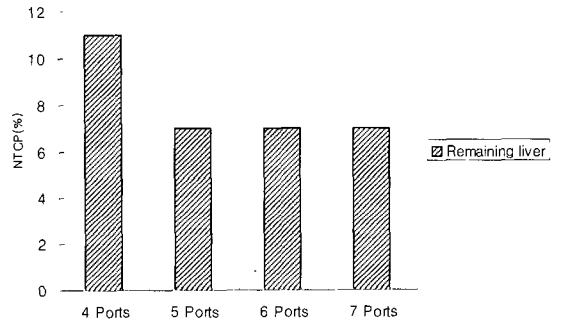


Fig. 2. (A) In group I, 4 plans were made as follows: 4 Ports(AP/PA/RT/LT), 5 Ports(AP/RT/LT/RPO/LPO), 6 Ports(AP/RAO/LAO/RPO/LPO), and 7 Ports(AP/RAO/LAO/RT/LT/RPO/LPO). AP; anterior to posterior, PA; posterior to anterior, RT; right side, LT; left side, RPO; right posterior oblique, LPO; left posterior oblique, RAO; right anterior oblique, LAO; left anterior oblique (B) NTCP(%) to the remaining liver were compared according to beam port arrangement in group I

획을 시행하여 비교하였다(Fig. 2). 정상 간의 NTCP는 조사 수를 4개에서 5개를 사용하였을 때, 11%에서 7%로 감소되었다. 그러나 조사 수가 6개 이상부터는 NTCP의 호전이 없었다. 위 (stomach)의 NTCP는 모두 0%였다 (Table 1).

그룹 II

간의 구획 2-4를 포함하는 그룹 II의 용적은 253 cm³이었고, 정상 간과 위(stomach)의 용적은 각각 1,018과 255 cm³이었다. GTV의 위치상 주로 앞쪽에서의 조사만 시행되거나 PA(posterior to anterior) 조사가 추가 되는 치료계획이 대부분이었다. 정상 간의 NTCP를 비교해 보았을 때 앞

Table 1. NTCP and mean doses to the GTV, remaining liver, and stomach, according to beam port arrangement, in group I.

	Volume (cm ³)	TD(50/5) (Gy)	Plan	MeanDose (Gy)	Std.Dev. (Gy)	NTCP (%)
GTV	51	-	4 Ports	63.0	0.5	-
			5 Ports	62.6	0.6	-
			6 Ports	62.7	0.5	-
			7 Ports	62.8	0.4	-
Remaining Liver	1248	40	4 Ports	20.9	18.5	11
			5 Ports	21.0	16.4	7
			6 Ports	21.3	16.1	7
			7 Ports	21.5	15.5	7
Stomach	254	65	4 Ports	21.2	15.8	0
			5 Ports	20.0	11.8	0
			6 Ports	18.5	11.6	0
			7 Ports	20.2	10.2	0

Table 2. NTCP and mean doses to the GTV, remaining liver, and stomach, according to beam port arrangement, in group II.

	Volume (cm ³)	TD(50/5) (Gy)	Plan	MeanDose (Gy)	Std.Dev. (Gy)	NTCP (%)
GTV	253	-	3 Ports	65.7	2.7	-
			RAO/LAO	65.7	2.3	-
			3(Y) Ports	64.4	0.8	-
			4 Ports	64.3	1.0	-
Remaining Liver	1018	40	3 Ports	25.0	17.4	24
			RAO/LAO	23.8	18.2	25
			3(Y) Ports	28.0	19.7	45
			4 Ports	28.5	20.5	49
Stomach	255	65	3 Ports	43.3	18.6	15
			RAO/LAO	43.1	18.5	15
			3(Y) Ports	44.3	18.3	14
			4 Ports	43.9	19.1	14

RAO: right anterior oblique, LAO: left anterior oblique beam

쪽에서의 조사 방향으로만 구성된 치료계획은 NTCP가 24-25%였으나 PA 조사가 추가 되는 경우, 비록 선량분포도는 더 균질 하였으나 NTCP가 45-49%로 증가 되었다(Fig. 3). 위(stomach)의 NTCP는 14-15%로 모든 치료계획에서 거의 동일하였다 (Table 2).

그룹 III

그룹 III에서의 GTV는 372 cm³로 그룹들 중에서 GTV 용적이 가장 컸다. 또한 정상 간, 위, 십이지장, 신장과 같이 GTV에 인접한 정상 조직이 많아 조사 방향에 제한이 많았다. RAO/PA(right anterior oblique and posterior to anterior) 조사 방향에서 정상 간의 NTCP가 27%, 위(stomach)

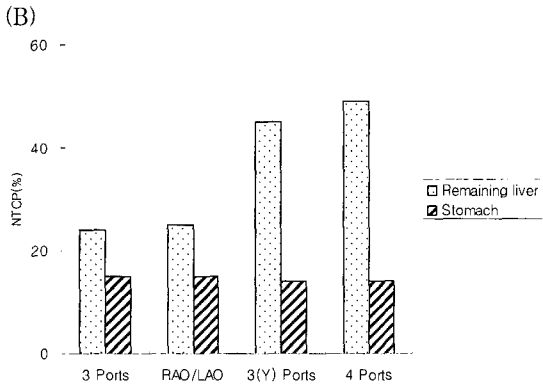
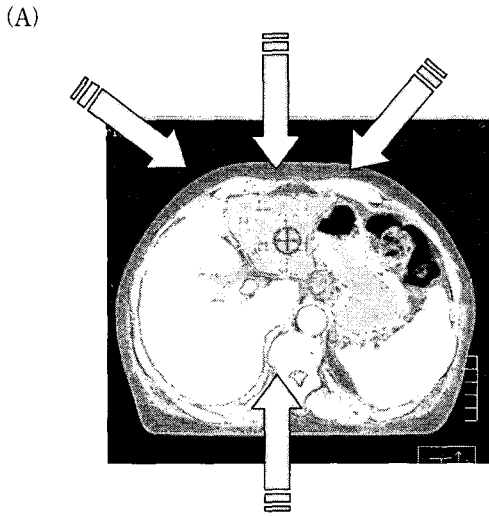


Fig. 3. (A) In group II, 4 plans were made as follows; 3 Ports(AP/RAO/LAO), RAO/LAO, 3(Y) Ports(RAO/LAO/PA), 4 Ports(AP/RAO/LAO/PA)
 (B) NTCP(%) to the remaining liver, and stomach were compared according to beam port arrangement in group II

의 NTCP는 0%, 그리고 십이지장의 NTCP는 2%로 조사수가 많은 다른 계획들에 비해 낮았다 (Table 3). 주로 오른쪽 방향에서 조사가 추가 되는 경우 정상 조직의 평균 선량이 올라가면서 NTCP가 증가하였다(Fig. 4). 우측 신장은 GTV와 너무 가깝게 위치해 있었기 때문에 NTCP가 97에서 100%로 모든 치료계획에서 아주 높았다.

그룹 IV

구획 7과 8을 포함하고 있는 그룹 IV는 그룹 III의 상방에 위치하였고 GTV의 용적은 320 cm³이었다. GTV의 모양이나 위치가 비슷하여 그룹 IV에서도 RAO/PA에서 정상 간의 NTCP가 가장 낮았다(Table 4). 다른 계획들은 정상 간의 직접

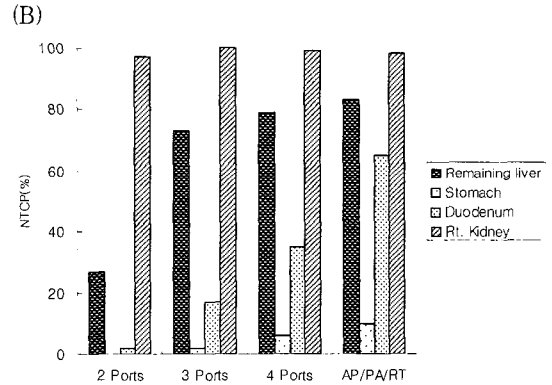
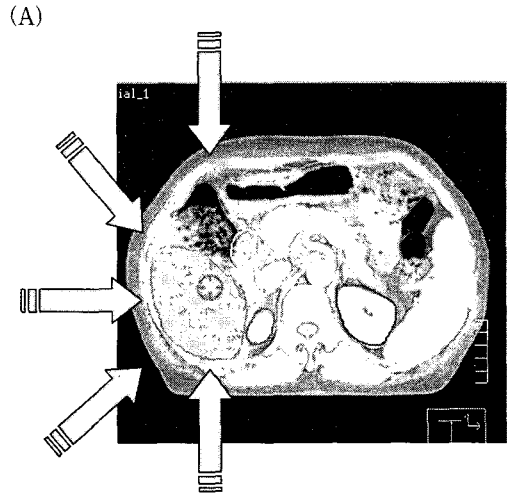


Fig. 4. (A) In group III, 4 plans were made as follows; 2 Ports(RAO/AP), 3 Ports(RAO/RPO/PA), 4 Ports(AP/RAO/RPO/PA), and AP/PA/RT
 (B) NTCP(%) to the remaining liver, stomach, duodenum, and right kidney were compared according to beam port arrangement in group III

적인 조사 영역을 감소시키기 위해 그룹 III와 마찬가지로 오른쪽 방향에서 조사가 추가 되었으나 RAO/PA에 비해 정상 간의 NTCP는 증가하였다 (Fig. 5)

지금까지 3D-CRT를 이용하여 적절한 방사선치료 조사방향에 대한 연구는 주로 폐암, 전립선암, 그리고 췌장암에서 시행되었다[14-17]. Steadham 등은 췌장암에서 3D-CRT에서 적절한 방사선치료의 조사에 대한 연구에서 기존에 시행되어왔던 전후 좌우 4방향의 방사선치료보다 적절한 조사방향과 선량을 이용하여 효과적으로 신장에 대한 방사선 선량을 감소시킬 수 있었다고 보고하였다 [14]. Das등[15]은 CT 모의촬영을 시행한 폐암

Table 3. NTCP and mean doses to the GTV, remaining liver, stomach, duodenum, and right kidney, according to beam port arrangement, in group III.

	Volume (cm ³)	TD(50/5) (Gy)	Plan	MeanDose (Gy)	Std.Dev. (Gy)	NTCP (%)
GTV	372	-	2 Port	64.5	1.2	-
			3 Port	64.9	1.4	-
			4 Port	63.6	1.1	-
			AP/PA/RT	64.1	1.3	-
Remaining Liver	901	40	2 Port	21.8	22.5	27
			3 Port	25.7	22.6	73
			4 Port	25.9	23.3	79
			AP/PA/RT	26.3	23.6	83
Stomach	245	65	2 Port	7.0	12.4	0
			3 Port	18.6	12.2	2
			4 Port	18.3	16.8	6
			AP/PA/RT	17.7	18.2	10
Duodenum	38	55	2 Port	14.3	17.0	2
			3 Port	22.7	19.0	17
			4 Port	23.6	21.8	35
			AP/PA/RT	25.7	25.3	65
RtKidney	142	28	2 Port	29.1	24.4	97
			3 Port	33.4	23.7	100
			4 Port	31.3	23.1	99
			AP/PA/RT	29.9	23.4	98

AP: anterior to posterior, PA: posterior to anterior, RT: right

Table 4. NTCP and mean doses to the GTV and remaining liver, according to beam port arrangement, in group IV.

	Volume (cm ³)	TD(50/5) (Gy)	Plan	Mean Dose (Gy)	Std. Dev. (Gy)	NTCP (%)
GTV	320	-	2 Port	54.6	1.0	-
			3 Port	55.1	1.4	-
			4 Port	54.9	1.1	-
			5 Port	55.0	1.0	-
Remaining Liver	976	40	2 Port	20.7	20.9	20
			3 Port	24.2	20.1	26
			4 Port	25.4	21.3	35
			5 Port	24.0	20.7	28

환자에서 조사영역 축소(cone-down)를 시행할 때 3D-CRT 계획과 DVH(dose volume histogram)를 이용하여 적절한 조사 방향을 정하고자 하였

다. 이 연구에서는 15명이 환자들을 대상으로 갱트리(gantry) 각도가 30도에서 60도로 증가됨에 따라 방사선치료를 받는 폐용적이 평균 $8 \pm 7\%$

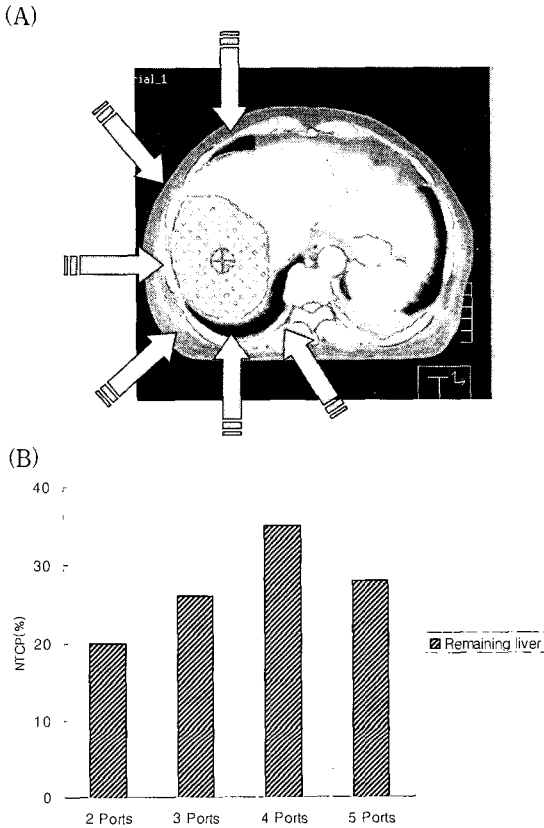


Fig. 5. (A) In group IV, 4 plans were made as follows: 2 Ports: RAO/AP, 3 Ports: RAO/RPO/PA, 4 Ports: AP/RAO/RPO/PA, 5 Ports: AP/RAO/RPO/PA/LPO (B) NTCP(%) to the remaining liver were compared according to beam port arrangement in group IV

증가하였다. 전립선암에서는 방광, 직장, 그리고 대퇴부 두부(femoral head)와 같은 정상 조직을 보호할 수 있는 적절한 방사선 조사 방향을 찾고자 하는 연구들이 있었다[16,17].

간암에서 3D-CRT를 이용하여 적절한 방사선 치료 조사방향을 계획할 때는 몇 가지 고려해야 할 점들이 있다. 첫째로 간의 해부학적인 구조가 독특하다는 것인데, 간은 비대칭성 장기로 삼각형(triangular)모양을 하고 있는 가장 큰 분비기관(gland)이다. 둘째로 십이지장, 대장, 소장, 그리고 신장과 같은 방사선에 민감한 정상 장기가 근접해 있는데, 간암의 위치에 따라 인접한 정상 장기가 조금씩 다르다는 것이다. 박 등[8]은 간암으로 방사선치료를 받은 환자들 중 우엽에 위치했던 환자들 47명중 26명(55.3%)에서 구토나 구역질 같은 급성 부작용이 발생하였고, 좌엽에 위치한 경우는 12명의 환자들 중 11명(91.7%)으로 더 빈

번히 발생하였다. 이전에 본원에서 50명의 간암 환자들을 대상으로 경동맥 색전술과 함께 3D-CRT를 시행한 결과를 발표한 문헌에서는 7명이 위장관 부작용을, 6명은 방사선 간질환이 발생하였고, 1명에서는 구획 5번에 위치한 간암환자의 방사선치료 후 방사선치료로 인한 대장염이 생겼다[13]. 이와 같이 간암의 위치에 따라 고려해야 할 정상 조직에 차이가 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 위장관 부작용은 그룹 III에서는 조사 수가 증가될수록 위와 십이지장의 NTCP가 증가되었다. 이러한 부작용은 오른쪽 방향의 조사가 사용되었을 때 증가되었는데, GTV를 통과한 방사선 조사로 인한 영향 때문으로 생각된다. 마지막으로, 우리나라와 같은 동양인들은 만성 간질환이 동반된 간암 환자들 많이 때문에 간종괴 부분 외의 정상 간에 대한 고려도 중요하다. 이에 우리 연구팀은 정상 간을 고려하여 DVH에서 V_{50%}을 기준으로 방사선 선량을 결정해야 한다고 보고하였다[13]. 본 연구에서는 그룹 II인 경우 PA방향, 그룹 III와 IV인 경우는 오른쪽 방향의 조사가 추가되었을 때 선량의 균질도는 향상되었지만 정상 간의 NTCP가 증가하였다. 따라서 방사선치료를 시행할 때에 간종괴의 위치와 함께 정상 간의 V_{50%}과 같이 정상 간의 용적도 고려하여 방사선 조사 방향을 신중히 선택하는 것이 중요하다. 하지만 실제 임상에서는 간암이 여러 구획을 포함하여 발생할 수도 있고 크기도 다양할 수 있기 때문에 본 연구처럼 한 사람의 표적체적을 가지고 만들어진 지침을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 또한 본 연구의 결과 분석에서 사용한 NTCP는 환자의 간기능에 대한 정보가 포함되어 있지 않다. 그러므로 ICG-R15(indocyanine green retention rate at 15minutes)나 Child-Pugh class와 같은 만성 간질환의 진행 정도를 추정할 수 있는 요소들을 감안하여 적절한 방사선 치료계획을 수립하여야 한다.

결론

간암의 방사선 치료계획 시 간암의 위치와 정상조직의 위치에 따라 NTCP가 다양하게 나타날 수 있다. 본 연구를 통해 간암의 방사선치료 시 조사 방향의 설정을 통해 임상적으로 적용하는데 유용할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Cochrane AM, Murray-Lyon IM, Brinkley DM, Williams R. Quadruple chemotherapy versus radiotherapy in treatment of primary hepatocellular carcinoma. *Cancer* 1977;40:609-614.
2. Ingold JA, Reed GB, Kaplan HS, Bagshaw MA. Radiation Hepatitis. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1965;93:200-208.
3. Lawrence TS, Tesser RJ, ten Haken RK. An application of dose volume histograms to the treatment of intrahepatic malignancies with radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1990;19:1041-1047.
4. Emami B, Lyman J, Brown A, Coia L, Goitein M, Munzenrider JE, Shank B, Solin LJ, Wesson M. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991;21:109-122.
5. Lawrence TS, Ten Haken RK, Kessler ML, Robertson JM, Lyman JT, Lavigne ML, Brown MB, DuRoss DJ, Andrews JC, Ensminger WD, et al. The use of 3-D dose volume analysis to predict radiation hepatitis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992;23:781-788.
6. Robertson JM, McGinn CJ, Walker S, Marx MV, Kessler ML, Ensminger WD, Lawrence TS. A phase I trial of hepatic arterial bromodeoxyuridine and conformal radiation therapy for patients with primary hepatobiliary cancers or colorectal liver metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;39:1087-1092.
7. Seong J, Keum KC, Han KH, Lee DY, Lee JT, Chon CY, Moon YM, Suh CO, Kim GE. Combined transcatheter arterial chemoembolization and local radiotherapy of unresectable hepatocellular carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;43:393-397.
8. Park W, Lim DH, Paik SW, Koh KC, Choi MS, Park CK, Yoo BC, Lee JE, Kang MK, Park YJ, Nam HR, Ahn YC, Huh SJ. Local radiotherapy for patients with unresectable hepatocellular carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;61:1143-1150.
9. Shim SJ, Seong J, Han KH, Chon CY, Suh CO, Lee JT. Local radiotherapy as a complement to incomplete transcatheter arterial chemoembolization in locally advanced hepatocellular carcinoma. *Liver Int* 2005;25:1189-1196.
10. Park JW. Practice guideline for diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma. *Korean J Hepatol* 2004;10:88-98.
11. Wu DH, Liu L, Chen LH. Therapeutic effects and prognostic factors in three-dimensional conformal radiotherapy combined with transcatheter arterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma. *World J Gastroenterol* 2004;10:2184-2189.
12. Chen LH, Guan J. Evaluation of three-dimensional conformal radiation therapy for small primary hepatocellular carcinoma. *Di Yi Jun Yi Da Xue Xue Bao* 2003;23:260-261.
13. Seong J, Park HC, Han KH, Chon CY, Chu SS, Kim GE, Suh CO. Clinical results of 3-dimensional conformal radiotherapy combined with transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma in the cirrhotic patients. *Hepatol Res* 2003;27:30-35.
14. Steadham AM, Liu HH, Crane CH, Janjan NA, Rosen, II. Optimization of beam orientations and weights for coplanar conformal beams in treating pancreatic cancer. *Med Dosim* 1999;24:265-271.
15. Das IJ, Cheng EC, Anderson PR, Movsas B. Optimum beam angles for the conformal treatment of lung cancer: a CT simulation study. *Int J Cancer* 2000;90:359-365.
16. Milecki P, Piotrowski T, Dymnicka M. The comparison of radiotherapy techniques for treatment of the prostate cancer: the three-field vs. the four-field. *Neoplasma* 2004;51: 64-69.
17. Khoo VS, Bedford JL, Webb S, Dearnaley DP. An evaluation of three-field coplanar plans for conformal radiotherapy of prostate cancer. *Radiother Oncol* 2000;55:31-40.
18. Couinaud C. Definition of hepatic anatomical regions and their value during hepatectomy (author's transl.). *Chirurgie* 1980;106: 103-

- 108.
19. Lyman JT, Wolbarst AB. Optimization of radiation therapy, III: A method of assessing complication probabilities from dose-volume histograms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1987;13:103-109.
20. Kutcher GJ, Burman C. Calculation of complication probability factors for non-uniform normal tissue irradiation: the effective volume method. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989;16:1623-1630.