

간암에서 호흡주기를 고려한 2-차원 방사선 치료 방법과 3-차원 입체조형 치료방법에서 방사선 간염 예측의 비교연구

연세대학교 의과대학 연세암센터 치료방사선과학교실*, 서울보건대학 방사선과†

이상욱* · 김귀언* · 정갑수† · 이창걸* · 성진실* · 서창욱*

Comparative Study Between Respiratory Gated Conventional 2-D Plan and 3-D Conformal Plan for Predicting Radiation Hepatitis

Sang-wook Lee, M.D.*, Gwi Eon Kim, M.D.*, Kap Soo Chung, Ph.D.†,
Chang Geol Lee, M.D.*, Jinsil Seong M.D.* and Chang Ok Suh, M.D.*

*Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center, Yonsei University, College of Medicine,

†Department of Radiology, Seoul Health College, Seoul, Korea

Purpose : To evaluate influences associated with radiation treatment planning obtained with the patient breathing freely.

Materials and Methods : We compared reduction or elimination of planning target volume (PTV) margins with 2-D conventional plan with inclusion of PTV margins associated with breathing with 3-D conformal therapy. The respiratory non gated 3-D conformal treatment plans were compared with respiratory gated conventional 2-D plans in 4 patients with hepatocellular carcinomas. Isodose distribution, dose statistics, and dose volume histogram (DVH) of PTVs were used to evaluate differences between respiratory gated conventional 2-D plans and respiratory non gated 3-D conformal treatment plans. In addition, the risk of radiation exposure of surrounding normal liver and organs are evaluated by means of DVH and normal tissue complication probabilities (NTCPs).

Results : The vertical movement of liver ranged 2-3 cm in all patients. We found no difference between respiratory gated 2-D plans and 3-D conformal treatment plans with the patients breathing freely. Treatment planning using DVH analysis of PTV and the normal liver was used for all patients. DVH and calculated NTCP showed no difference in respiratory gated 2-D plans and respiratory non gated 3-D conformal treatment plans.

Conclusion : Respiratory gated radiation therapy was very important in hepatic tumors because radiation induced hepatitis was dependent on remaining normal liver volume. Further investigational studies for respiratory gated radiation treatment combined with 3-D conformal treatment are required.

Key Words : 3-D conformal therapy, Hepatocellular carcinoma

이 논문은 1998년 7월 7일 접수하여 1998년 9월 15일 채택되었음.

책임 저자: 김귀언, 서울시 서대문구 신촌동 134 연세의료원 연세암센터 방사선종양학과

서 론

원발성 간암은 우리 나라에서는 비교적 흔하게 발생하는 악성종양중의 하나임에도 불구하고¹⁾ 예후가 매우 불량하여 치사율이 매우 높은 질환이다. 문헌상 가장 완치 가능성이 높은 치료방법은 조기에 발견되어 수술적 완전절제가 된 경우와 간 이식술을 시행한 경우로 알려져 있다.^{2, 3)} 그러나 간경화와 같은 간실질 질환이 동반되거나 간문맥과 같은 중요 혈관을 침윤한 간암은 외과적 절제가 불가능한데, 이런 경우 가능한 비수술적 방법으로는 외부방사선치료, 진신적 화학요법, 간동맥내 함양제 투여, 간 동맥 결찰술, 간 동맥 폐쇄법 및¹³⁾ Lipiodol을 이용한 내부 방사선 치료 등이 시도되고 있지만 아직까지 만족할 만한 치료성적을 얻고 있지 못하다.⁴⁻⁶⁾ 이런 다양한 비수술적 치료 방법들 중에서 외부방사선치료는 근치적 목적 또는 고식적 목적으로 광범위한 적용증을 가진다. 그러나 간에 대한 방사선 생물학적 특징이나 방사선 치료시 견딜선량에 대한 지식들이 밝혀지기 전까지는 간에 대한 방사선 치료는 매우 어려운 문제로 인식되어 방사선 치료의 시도 역시 매우 조심스러웠다. 하지만 현재까지 비교적 많은 간의 방사선 생물학적 특징들이 밝혀지면서⁹⁻¹³⁾ 간 전체에 대한 방사선치료시 총선량이 30Gy 까지는 방사선 치료에 따른 간염이 거의 발생하지 않고, 35Gy 이하에서는 방사선 간염이 발생해도 가역적으로 회복될 수 있으나 종양억제 능력이 저하됨이 밝혀졌고,^{10,14)} 간의 일부분만 방사선 치료를 하는 경우 방사선 간염의 견딜선량이 더 높은 것으로 알려져 있다.^{12, 15-17)} 한편으로 방사선에 노출되지 않는 간의 체적이 방사선 간염을 예측하는데 중요한 지표가 된다는 것들이 밝혀졌다.^{12, 13)} 따라서 주변 정상 간 조직의 방사선 피폭을 줄이면서 충분한 선량을 종양 조직에 조사 할 수 있다면, 방사선 간염을 예방하고 종양을 제어 할 수 있는 방사선량을 조사 할 수 있다. 기존의 외부방사선치료 방법은 전후에서 평행대향 조사법이나, 전후좌우에서 조사하는 4문 조사법(box technique) 또는 췌기를 사용한 전, 후 우측에서 조사하는 3문 조사법 등으로 비교적 간단한 방법이 사용되었는데, 이런 방사선 치료방법은 조사방향이 제한적이기 때문에 방사선이 조사되는 경로에 있는 정상 간 조직과 근접한 주변 장기는 비교적 많은 양의 방사선에 노출되는 단점을 가지고 있었다.

그러나 컴퓨터 기술과 진단방사선학의 발전에 힘입어 정확한 종양의 위치와 크기를 파악할 수 있고, 컴

퓨터 화면상에서는 종양 조직과 주변 장기의 3-차원적 재구성이 가능하게 되어, 종양조직은 방사선 조사 영역에 충분히 포함시키면서도 정상조직에는 가능한 최소량의 방사선량이 노출되는 컴퓨터치료계획이 가능하게 되어 소위 3-차원적 입체 조형치료가 가능하게 되었다.^{18, 19)} 3-차원 입체조형치료가 간암의 방사선 치료에 시도되면서 자유롭고 다양한 각도에서 방사선 조사방향이 가능하여 정상간의 방사선 노출을 줄일 수 있게 되어 몇몇 기관들에서 임상연구를 진행 중이다.^{12, 18, 20)} 한편 간의 호흡에 의해 상하 움직임에 대한 연구와 극복 방안에 대한 연구가 진행 중이지만²¹⁾ 일반적으로 3-차원 입체조형치료 컴퓨터 계획시 호흡에 의한 간의 상하 움직임을 2-3cm 고려하여 방사선 조사영역의 크기를 정하였기 때문에,¹²⁾ 정상 간조직이 방사선에 노출되는 문제점이 있고, 종양조직을 제외한 나머지 정상 간의 방사선 노출을 줄여 방사선 간염의 발생을 줄이려는 목적에는 부합하지 못하고 있다. 간의 호흡에 의한 상하 운동시 호흡 주기에 따라 일정한 호흡 상태에서만 방사선을 조사할 수 있는 방법이 고안되어 표적용적을 결정함에 있어서 간의 상하 운동을 고려하여 계획용표적체적을 상하로 줄일 수 있었다. 만약 간의 방사선치료계획시 방사선 조사범위를 상하로 간의 호흡에 의한 상하 운동범위 만큼 줄여 줄 수 있다면 정상간과 주변장기의 방사선 노출을 줄일 수 있다는 이론적 배경으로 일부 치료기관에서는 위의 연구가 진행 중이다.^{22, 23)}

본 연구자는 간의 방사선 치료에서 호흡주기에 따른 방사선조사방법(respiratory gated radiation therapy)이나 3-차원입체조형치료방법 모두 정상 간 조직을 보존할 수 있는 방법이라고 생각하지만, 일정 호흡주기에서 방사선을 조사함으로써 계획용표적체적의 크기를 줄여 상대적으로 정상간에 조사되는 방사선의 양을 줄이는 방법 즉 호흡주기에 따른 2-차원 방사선 치료방법(respiratory gated conventional radiation therapy)과 방사선조사면수와 조사방향에 따라 정상간에 흡수되는 방사선량을 최소화 할 수 있는 최적의 방법 즉 자유롭게 호흡하면서 치료하는 3-차원입체조형치료방법(respiratory non gated 3-D conformal radiation therapy)에서 방사선 간염의 예측과 주변정상장기의 방사선 노출 정도를 비교하여 보고자 본 연구를 진행하였다.

대상 및 방법

1. 대상 및 재료

연세암센터 치료방사선과에서 1996년 1월부터 1996년 5월까지 원발성 간암으로 진단 받고 수술이 불가능하다고 판단되어 3-차원 입체조형치료를 받은 4명을 대상으로 컴퓨터 치료계획상에서 재분석을 시행하였다. 첫 번째 증례는 종양이 주로 7번과 8번 분절에 위치하고 있으면서 최대직경이 8cm 이었고, 두 번째 증례는 종양의 최대 직경이 11cm 으로 주로 5번과 8번 분절에 위치하였으며, 세 번째 증례는 최대 직경이 7cm 으로 주로 6번과 7번 분절에 위치하고 있었는데, 3례 모두 수술로 절제가 불가능하다고 판단 되어 방사선치료를 받은 경우이다. 네 번째 증례는 최대 직경이 4cm 으로 비교적 병변의 크기가 작아 수술적 절제가 가능하였지만 환자가 수술을 거절하여 방사선치료를 받은 경우였다. 본 연구에서는 3-차원 컴퓨터 치료계획 프로그램(Pinnacle³, ADAC Co., U.S.A.)을 사용하였다.

2. 방법

계획용표적체적과 정상 잔여간의 체적에 대한 용적 분석을 하였고, 정상 잔여간의 정의는 간 전체의 용적에서 계획용표적체적을 뺀 값으로 하였다. 간실질내에서 병변의 위치에 따라 병변이 간의 상하 양측 표면에 접해 있는 경우, 간의 상하 표면중 한 면에만 접해 있는 경우, 병변이 간의 표면 어디에도 접해 있지 않은 경우로 분류²⁴⁾하여 용적분석시 참고로 하였다(Fig. 1). 방사선치료계획시 선량 처방은 전간 조사는 계획하지 않았고 부분간에 대한 조사계획만 세워 총 55 Gy를 조사하여 컴퓨터치료계획상의 결과와 비교하기로 하였다. 3-차원 입체조형방사선치료를 받은 환자의

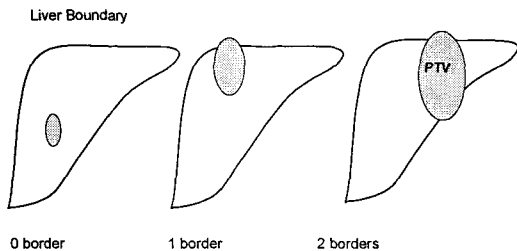


Fig. 1. Classification of tumor location in the liver surface.

정상간의 용적에 조사된 선량체적히스토그램을 구하였다. 그리고 2-차원 치료계획에서는 호흡주기에 따라 방사선치료를 시행하는 것으로 가정하기 때문에 계획용표적체적을 상하로 줄인 상태의 정상간 선량체적히스토그램을 구하였고, 3-차원 입체조형치료계획과 비교하였다. 그리고 계획용표적체적의 선량체적히스토그램과 정상간의 선량체적히스토그램을 비교하여 보고 선량체적히스토그램을 이용하여 normal tissue complication probability(NTCP) 값을 계산한 후 수치를 비교하여 방사선 간염 발생할 가능성을 비교하여 보았다.²⁵⁾

3. 컴퓨터치료계획

3-차원적 입체조형치료를 위한 컴퓨터 치료계획 과정은 이 등이²⁶⁾ 발표한 논문의 과정을 따랐는데 그 과정을 간략히 살펴보면 환자가 치료받을 자세를 결정하고 모의치료(simulation) 과정을 실시하는데 주 병변의 위치를 확인하고 회전중심점(isocenter)을 결정한다. 호흡에 의한 간의 상하운동을 고려하여 종양이 조사영역 밖으로 나가지 않게 고려하여 조사영역의 상하 범위를 결정한다. 다음 단계에서는 치료계획용 컴퓨터 단층촬영을 시행하는데 모의치료과정에서 결정된 것과 같은 자세에서 조영제를 투여한 후 간의 상연의 2-3cm 상부부터 간의 하연의 2-3cm 되는 점까지 5-10mm 간격으로 흡기 상태에서 컴퓨터 단층촬영을 시행한다. 컴퓨터 단층촬영한 영상자료를 치료계획용 컴퓨터로 이송하여 실제 치료계획을 실시하는데 일차적으로 치료할 범위를 단층영상에서 ICRU 50의 치료 계획용표적체적(planning target volume)이란 개념²⁷⁾에 따라 결정한다. 계획용표적체적은 setup 오차와 장기의 호흡에 의한 이동을 고려하였다(Fig. 2). 다음으로 양측신장, 척수 등의 주변정상장기의 외곽을 그린 후 계획용표적체적과 주변정상장기를 삼차원적으로 재구성하여 빔방향상(Beam's eye view)으로 계획용표적체적과 주변 정상장기와의 관계를 고려하면서 주변 정상장기에는 최대한 방사선 노출을 줄이고 계획용표적체적을 효과적으로 조사할 수 있는 빔 방향을 결정한다. 위와 같은 방식으로 5개 이상의 조사 방향을 결정하고 계획용표적체적내의 선량분포의 균일성을 얻기 위해 빔의 에너지를 선택하고 조사 영역에 썬기(wedge)를 사용하거나 각 조사 영역에 선량의 가중계수를 정한다. 다음 과정으로 선량계산은 3-차원적 선량계산을 하였는데 본 연구방법에서의 선량계산 방법은 가는빔(pencil beam)의 나선형연산(convolution algorithm)방법으로 계산을 하였다. 선량을 3-차원적

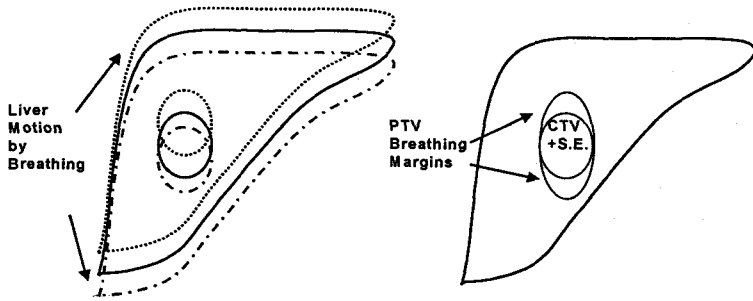


Fig. 2. Planning target volume(PTV) expansions for patient breathing applied to the superior and inferior borders of the clinical target volume(CTV), with already includes PTV margins for setup error(S.E.).

본포로 나타낸 후 계획용표적체적과 정상주변장기와의 관계를 보면서 췌기의 사용 유무를 재차 결정하고, 만약 사용하는 경우 췌기의 각도를 결정한다. 또한 빔의 선량가중계수를 정하고, 빔방향을 교정한다. 한편 계획용표적체적과 주변정상장기의 선량체적히스토그램을 통한 분석을 시행하여 치료 목적에 부합하는 최상의 선량분포를 얻었다고 판단되면 생물학적 지표(biological index)를 계산한 후 컴퓨터치료계획을 종료한다.

2차원 컴퓨터치료계획은 계획용표적체적을 결정함에 있어서 호흡에 의한 간의 상하 운동을 고려하지 않고 임상표적체적(clinical target volume, CTV)에 setup 오차만 고려하여 계획용표적체적을 정하였다. 빔방향은 종양의 위치에 따라 전후 평행대향조사 또는 빔의 방향을 전후 그리고 우측 직각으로 정하고 전후 조사 영역에는 췌기를 사용한 3문조사법 등으로 기존의 치료방법에 의거하여 컴퓨터치료계획을 세운다.

4. NTCP값 계산법

NTCP값 계산법은 Lyman의 NTCP 모델²⁸⁾에 따라 계산하였는데 이론적 배경은 특정 체적에 균일하게 방사선을 조사하면 방사선조사로 인한 합병증이 발생할 확률은 S-자형선량반응곡선을 따른다는 모형이다. 따라서 NTCP값은 공식(1)과 같은 여러함수를 사용하여 계산한다.

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

$$v = V/V_{ref} \quad (2)$$

$$TD(v) = TD(1) \cdot v^{-n} \quad (3)$$

$$t = (D - TD_{50}(v)) / (m \cdot TD_{50}(v)) \quad (4)$$

인체의 장기가 방사선을 조사 받을 경우 S-자형 선량반응곡선에 따라 합병증이 발생하는 것으로 가정할 경우 TD(1)는 특정장기 전체가 동시에 균일한 방사선 조사를 받는 경우의 견딜선량을 나타내고, TD(v)란 장기의 일부분의 용적(v)이 동시에 균일하게 방사선 조사를 받는 경우 합병증 발생이 예측되는 견딜선량이다. TD₅₀(1)는 예를 들어 전간에 균일하게 방사선이 조사된다고 가정할 때 5년내에 합병증이 발생한 확률이 50%가 되는 선량을 말한다. TD₅₀(v)는 부분체적인 v에 균일한 선량이 조사된 경우 방사선으로 인한 합병증이 발생할 확률이 50%인 경우의 견딜선량을 말한다. 공식(2)에서 v는 체적의 비율을 의미하는데, V_{ref}는 종양조직을 제외한 정상간의 체적을 말하고 diffuse disease인 경우에는 전간을 말한다. 장기전체의 견딜선량과 부분용적의 견딜선량은 power law 상관관계에 따르는데 공식(3)이 이것을 의미하는데 공식(3)에서 n값은 용적효과(volume effect)를 나타낸다. 만약 n 값이 크면 특정장기의 일부분이 고선량을 받더라도 전체 장기의 기능 저하는 잘 일어나지 않는다고 말할 수 있는데 간이 대표적인 장기이다. 반대로 n 값이 작은 경우에는 장기의 일부분이 고선량을 받더라도 전체 장기가 같은 선량을 받은 것과 같은 기능장애가 쉽게 일어나는 장기로 식도가 이런 장기에 해당된다.¹²⁾ 이 수치는 조직에 따른 특정 매개변수이고 맞춤(fitted) 매개변수이다. TD₅₀(v)가 구해지면 공식(4)를 계산하여 t값을 구하게 되는데 공식(4)의 m 값은 고정된 부분용적의 선량-합병증 곡선의 기울기를 의미하는데 이 곡선은 S-자형 곡선이고 TD₅₀에서의 곡선의 기울기를 의미한다.²⁹⁾ n, m, TD₅₀(1)은 장기에

따라 정해지는 변수이고 방사선 치료에 따라 변하는 변수는 아니다. 공식(4)에서 t 값을 구하기 위해서는 v 와 D를 구해야 하는데 전술했듯이 특정장기의 v라는 용적에 D라는 선량이 이상적으로 균일하게 조사되었을 경우의 합병증 발생률을 구하는 것이기 때문에 실제 방사선치료시에는 불균일한 용적에 불균일한 선량 분포를 하기 때문에, 누적선량체적히스토그램은 부정형을 갖는다. NTCP값을 계산하기 위한 목적으로 그림과 같이 여러 단계를 비슷한 결과가 예측되는 한 단계로 바꾸는 일이다. 이렇게 변형된 선량체적히스토그램이 원래의 히스토그램과 같은 합병증 발생 확률과 같을 것으로 기대한다. 선량체적히스토그램을 변형시키는 방법은 크게 두 가지 방법이 있는데 Linear interpolation 방법³⁰⁾과 Effective volume 방법^{31, 32)}이 있고 두 가지 방법에 의해 계산된 NTCP 값은 크게 차이가 없는 것으로 알려져 있다. 본 연구 방법에서 사용한 선량체적히스토그램 변형 방법은 Effective volume 방법을 사용하였다.³¹⁾ Effective volume 방법은 특정장기에서 구해진 선량체적히스토그램을 변형시켜 동일한 합병증이 예측되는 일정한 용적에 균일한 x 축의 정해진 기준이 되는 선량값(D_{ref})을 정하게 되는데 일반적으로 최대 선량 값(D_{max})에 맞추어 y축을 V_{eff}의 높이로 한 개의 계단으로 바꾸는데 이때 V_{eff} 값은 1보다 작은 값이 된다.¹⁵⁾ 만약 D_{ref} 값이 최대 선량 값보다 작은 경우에는 V_{eff} 값이 1보다 클 수 있다. 각 단계에서 Δv_i 높이의 히스토그램에서 D_i의 확장은 power law 상관관계를 따를 것으로 예측되고 선량값을 D_{max}로 연장하기 위해서 Δveff 란 좀더 작은 용적과 바꾸기 위해서 다음과 같은 공식(5)을 사용한다.³¹⁾

$$v_{eff} = \Delta v_{max} + \Delta v_1 (D_1/D_{max}) + \Delta v_2 (D_2/D_{max})^{1/n} + \dots \quad (5)$$

$$V_{eff} = \sum \{ V_i \cdot (D_i/D_{ref})^{1/n} \} \quad (6)$$

공식(5)를 일반화하면 공식(6)이 된다.

선량체적히스토그램을 단순화시켜 얻은 용적을 공식(2)에 대입하여 v를 구하고 v를 공식(3)에 대입하여 TD₅₀(v)을 구한다. 선량체적히스토그램을 단순화시켜 얻은 선량값과 TD₅₀(v), v, m값을 공식(4)에 대입하여 t 값을 구한후 공식(1)에 t 값을 대입하면 NTCP 값을 결론적으로 구할 수 있다.

본 연구에서는 TD₅₀(1)은 Emami 등의¹⁷⁾ 연구 결과에 따라 40Gy로 정하였고 m 값은 Burman의³³⁾ 결과에 따라 0.15로 정하였고, n값은 Lawrence 등이¹²⁾ n 값을 0.69로 하였을 때 방사선 간염과 NTCP값이 더 정확히 상관됨을 주장한 것에 근거하여 계산하였다.

결 과

간이 호흡에 의해 상하로 움직이는 범위를 계획용 표적체적에 포함하지 않고 계획한 2-차원 컴퓨터치료 계획과 자유롭게 호흡하면서 방사선 치료를 받는다고 가정하여 간이 호흡에 의해 상하로 움직이는 범위를 포함하여 결정된 계획용표적체적으로 실시한 3-차원 컴퓨터치료계획을 시행하였는데 2-차원 컴퓨터치료계획에서는 주로 전후조사영역에서 췌기를 사용하고 우측 직각에서 빔방향으로 하는 3-문 조사법을 사용하였고 3-차원 입체조형방사선치료는 5개 이상의 조사영역을 사용하였는데 1개의 회전축상(coplanar)에서 치료계획이 시행되었다. 종양의 특성을 관찰해 보면 다음과 같다. 첫째, 증례는 병변이 간의 위쪽 표면까지 침윤되었고, 둘째, 증례는 종양이 간의 상하 양측 표면에 접해있었고 셋째, 증례는 간의후면과 아래쪽 표면에 침윤되어 있었고, 마지막 증례는 간의 표면 어디에도 침윤되지 않고 간실질내에 존재한 경우였다.

1. 용적 분석(Volumetric Analysis)

간 전체의 용적에서 계획용표적체적을 산술적으로 뺀 정상간의 용적을 비교하여 보면 계획용표적체적은

Table 1. Volumetric Analysis for the Normal Liver Comparing 2-D Plans with 3-D Plans

Number of Case	Normal Liver Volume(cc)		Planning Target Volume(cc)		Ratio of PTV (2-D/3-D)	Type of Borders
	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan		
1	771.1	732.1	483.5	522.5	0.93	1
2	1227.9	1211.9	668.4	684.4	0.98	2
3	629.7	583.1	835.9	882.5	0.95	1
4	1090.3	1061.5	172.1	190.9	0.90	0
Mean ± SD	929.8 ± 276.81	897.4 ± 289.51	540.0 ± 284.36	570.1 ± 292.53	0.95	

SD : Standard deviation

평균 30.1cc 가 2-차원 치료계획에서 줄어들음을 알 수 있었고, 정상간은 30.1cc가 늘어남을 관찰 할 수 있었다. 전간의 용적에 대한 정상간여간 용적의 비율은 3%정도의 차이가 있었다(Table 1). 2번 증례는 간의 상하 양측 표면에 종양이 침윤되었기 때문에 계획용표적체적이 2-차원 치료계획과 3-차원 치료계획간의 차이가 다른 증례에 비해 적음을 관찰 할 수 있었다. 또한 종양의 횡직경이 큰 경우에는 상하로 더 넓게 조사 영역을 정하는 경우 정상간의 용적이 더 많이 포함됨을 알 수 있는데 1번 증례와 3번 증례에서는 모두 간의 한 개의 표면에만 접해 있는데 3번 증례에서 종양의 횡직경과 체적이 크기 때문에 상대적으로 계획용표적체적의 차가 더 크게 관찰되었다. 4번 증례에서는 나머지 증례들과 비교하여 계획용표적체적을 결정함에 있어서 종양이 간실질내에 포함되어 있기 때문에 상하로 간이 움직이는 범위를 포함하기 때문에 각각 치료계획에서의 계획용표적체적의 비는 제일 크지만 산술차는 작게 관찰되었다. 그 이유는 종양 자체가 작기 때문이다.

2 계획용표적체적(PTV : planning target volume)

계획용표적체적내의 선량분포의 균일성은 두 개의 치료계획 결과에서 매우 유사함을 알 수 있는데(Fig. 3) 100% 등선량곡선과 95% 등선량 곡선이 계획용표

적체적을 잘 포함함을 관찰 할 수 있다. 계획용표적체적의 선량체적히스토그램을 비교하여 보면 점선은 2-차원 치료계획을 나타내고 실선은 3-차원 치료계획 나타내는데 두 개의 그래프가 매우 유사함을 관찰 할 수 있어 용적당 선량값이 유사함을 관찰 할 수 있다 (Fig. 4). 그림에서와 같이 1번 증례와 2번 증례에서는 두 개의 치료계획상에서 거의 차이가 없음을 알 수 있지만 오히려 3번 증례와 4번 증례에서는 2-차원 치료계획이 더 우수함을 알 수 있다. 한편 전체적으로 처방 선량인 200cGy에서 곡선이 급격히 변하여 계획용표적체적내에 저선량이 되는 곳이나 고선량이 조사되는 곳이 없음을 알 수 있다. 선량값들을 비교하여 보면 계획용표적체적내의 최소선량값은 2-차원 치료계획에서 171.2cGy였고 3-차원 치료계획에서는 183.5 cGy여서 3-차원 치료계획에서 저선량값이 처방한 선량값보다 12.3cGy 커서 우월하게 생각되었고 최대선량값은 두 치료계획간에 차이가 거의 없었다. 또한 평균 선량값 역시 거의 차이가 없음을 확인 할 수 있었다. 전체 체적의 95%가 조사 받는 선량(D_{95})은 172.5 cGy와 197.5cGy로 역시 3-차원 치료계획은 거의 대부분의 계획용표적체적이 처방한 선량에 매우 근접하는 선량을 조사 받을 수 있음을 확인 할 수 있었고, 계획용표적체적내의 고선량이 조사되는 5% 계획용표적체적내의 최소선량(D_{05})은 거의 차이가 없어 고선량

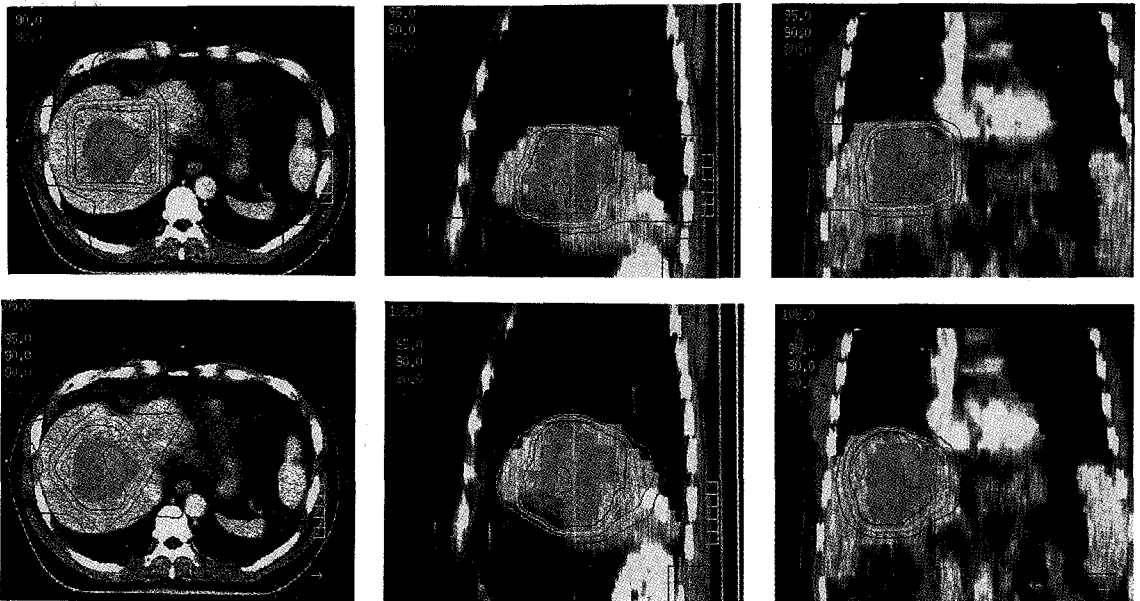


Fig. 3. Isodose displays for respiratory gated 2-D plans(upper panel) and 3-D conformal treatment plans(lower panel) used for patient No. 4.

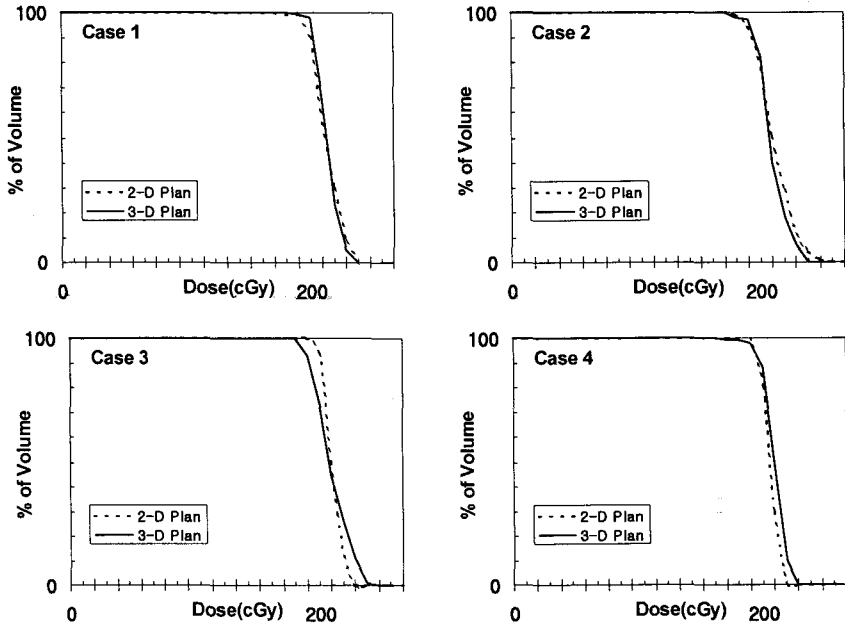


Fig. 4. Comparison of dose volume histograms derived from respiratory gate 2-D plans and non respiratory gate 3-D conformal treatment plans in each patient with hepatocellular carcinoma.

Table 2. Dose and Volume Statistics for Planning Target Volume(PTV) Comparing 2-D Respiratory Plans and 3-D Conformal Treated Plans in Hepatocellular Carcinoma of the Liver

Number of Case	D _{min} (cGy)		D _{max} (cGy)		D _{mean} (cGy)		D ₉₅ (cGy)		D ₀₅ (cGy)		V ₉₅ (cc)	
	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan
1.	172.1	185.3	220.9	224.8	206.7	206.9	98	202	216	217	99	100
2.	186.9	189.0	217.5	222.5	205.1	204.9	194	197	218	216	99	98
3.	147.0	171.1	233.6	220.4	205.6	204.4	200	194	213	218	100	100
4.	178.9	188.5	212.0	214.5	203.2	204.3	198	197	207	212	100	100
Mean	171.2	183.5	221.0	220.6	205.2	205.1	172.5	197.5	213.3	215.8	99.5	99.5
±SD	±17.25	±8.41	±9.17	±4.42	±1.46	±1.21	±43.06	±3.32	±3.50	±2.78		

D_{min}: Minimum dose in planning target volume.

D_{max}: Maximum dose in planning target volume.

D_{mean}: Mean dose in planning target volume.

D₉₅: The dose that 95% of the volume receives

D₀₅: The minimum dose that 5% of the volume receives in high dose region.

V₉₅: Percent volume covered by 95% of the prescribed dose for the target of interest.

되는 부분의 차이는 없는 것으로 생각된다. 처방한 선량의 95%가 조사되는 계획용표적체적내의 비율은 같았는데 선량통계의 결과를 총괄하여 보면 계획용표적체적내에서 고선량이 되는 부분의 차이는 없었고, 저선량이 되는 부분에서 미묘한 차이가 있었지만 계획용표적체적의 95% 용적 범위에서는 선량의 차이가

없음을 관찰 할 수 있었다(Table 2).

3. 정상 장기

정상간의 선량통계를 비교상에서 보면 정상간의 최대 선량 값은 두 치료계획간에 차이가 없었고 평균선량값 역시 뚜렷한 차이를 관찰 할 수 없었다(Table 3).

선량체적히스토그램을 두 치료계획의 결과에서 비교하여(Fig. 5) 보면 1번 증례에서는 2-차원 치료계획에서 정상간에 더 많은 방사선이 조사됨을 알 수 있고, 2번 증례와 4번 증례에서는 2-차원 치료계획에서 정상간에 더 적은 방사선이 분포됨을 알 수 있었다. 마지막으로 3번 증례에서는 저선량 부위는 3-차원 치료계획에서 더 많은 체적이 조사되고 고선량부위는 2-차원 치료계획에서 더 많은 체적이 조사되어 선량체

적히스토그램상에서 어느 것이 우월한지 평가하기 힘든데, 계산된 NTCP값을(Table 4) 비교하여 보면 예측대로 1번 증례에서는 3-차원 치료계획에서 방사선에 의한 간염 발생할 확률이 낮게 나왔고 2번과 4번 증례에서는 2-차원 치료계획에서 방사선에 의한 간염 발생확률이 낮게 예측되었다. 선량체적히스토그램상에서 예측하기 어려웠던 3번 증례에서는 3-차원 치료계획에서 더 낮은 방사선 간염 확률이 계산되었다. 전체적으로 2-차원 치료계획이 정상 간의 방사선에 의한 손상이 적을 것으로 예측되었다.

Table 3. Dose and Volume Statistics for Normal Liver Comparing 2-D Respiratory Plans and 3-D Conformal Treated Plans in Hepatocellular Carcinoma of the Liver

Number of Case	D _{max} (cGy)		D _{mean} (cGy)	
	2-D Plan	3-D Plan	2-D Plan	3-D Plan
1	219.0	217.0	84.5	69.5
2	217.8	220.9	80.0	77.7
3	231.1	219.8	118.3	144.7
4	212.9	214.5	110.7	121.1
Mean	220.2	218.1	98.4	103.3
±SD	±7.73	±2.88	±18.97	±30.94

D_{min}: Minimum dose in planning target volume.
 D_{max}: Maximum dose in planning target volume.
 D_{mean}: Mean dose in planning target volume.

Table 4. Comparison of Normal Tissue Complication of Normal Liver for 2-D Respiratory Gated Plans and 3-D Conformal Treatment Plans in Hepatocellular Carcinoma of the Liver

Number of Case	NTCP(n=0.32)		NTCP(n=0.69)	
	2-D Plan	3-D Plan	2-D plan	3-D Plan
1	0.274	0.155	0.017	0.003
2	0.338	0.800	0.048	0.551
3	0.193	0.117	0.007	0.003
4	0.477	0.551	0.135	0.208
Mean	0.321	0.406	0.052	0.191
±SD	±0.1200	±0.3280	±0.0582	±0.2586

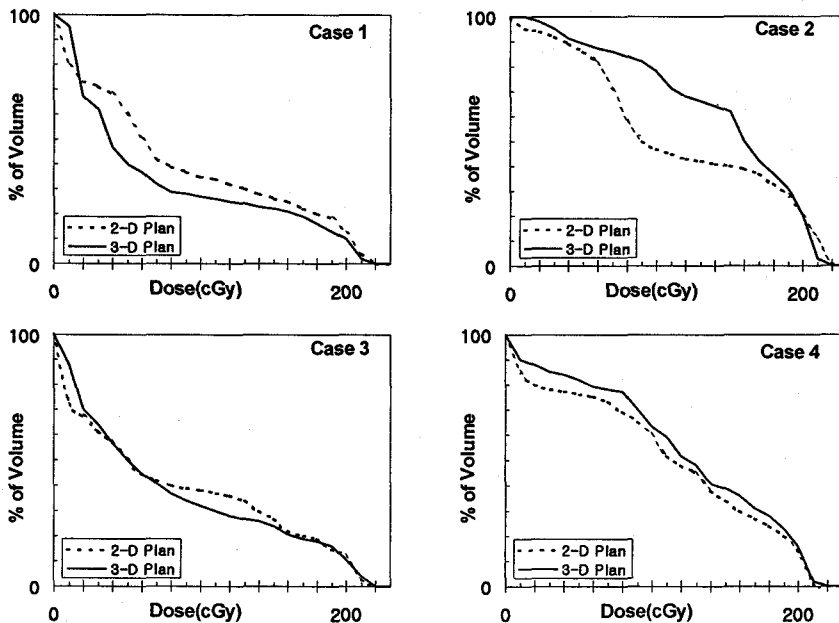


Fig. 5. Dose volume histogram for the remained normal liver in respiratory gated 2-D plans and 3-D conformal treatment plans.

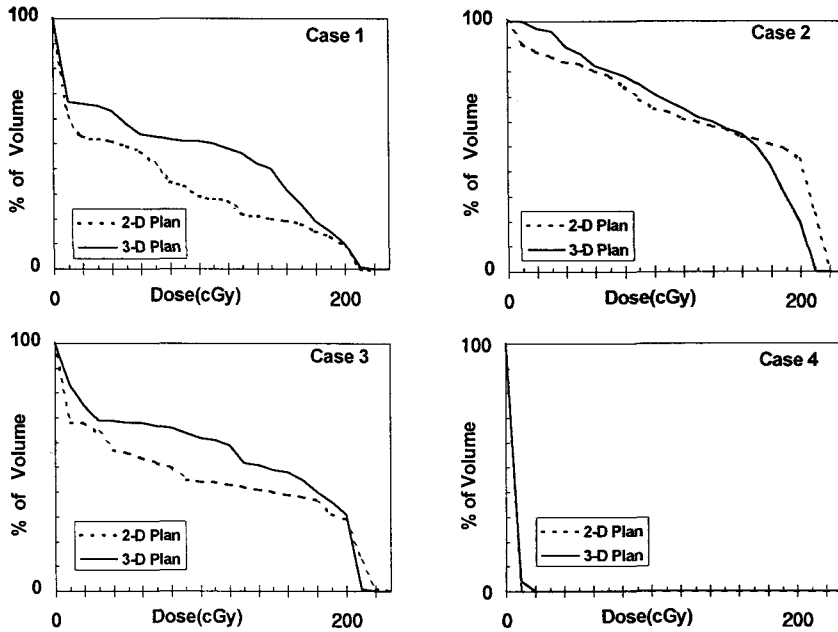


Fig. 6. Dose volume histogram for the right kidney in respiratory gated 2-D plans and non respiratory gated 3-D conformal treatment plans.

우측 신장은 비교적 간과 밀접하게 위치하고 방사선의 조사 범위에서도 포함되는 경우가 많기 때문에 선량체적히스토그램을 통한 비교를 하면 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 뚜렷한 차이를 관찰 할 수 없었는데 비교적 1번 증례와 3번 증례에서는 2-차원 치료계획이 오히려 적은 방사선이 조사됨을 알 수 있었는데 주변 정상장기에 분포하는 방사선량도 영향을 받을 수 있다. 좌측신장에 조사되는 선량체적히스토그램은 절대적으로 적은 방사선이 조사되기 때문에 분석이 필요 없었고 척수에 조사되는 방사선량이 견갑선량을 월등히 밀돌기 때문에 분석 비교하지 않았다.

고 찰

간(肝)에 대한 방사선치료시 방사선으로 인한 간염이 발생할 가능성이⁹⁻¹¹⁾ 있고, 만약 간염이 발생하면 치명적일 수 있기 때문에 방사선치료의사들은 간에 대한 치료시 방사선 간염을 발생하지 않게 방사선치료계획을 세우는 것이 일차적인 목적중 하나이다. 간의 방사선견딤선량은 전간을 조사할 때와 간의 일부분을 조사할 때는 많은 차이를 보이는 것으로 알려져 있다.^{12, 13, 15, 16, 34)} 그 이유로는 간은 기능이 같은 단위의 조직이 일정하게 배열되어 방사선 생물학적으로

병렬 장기의 대표적인 장기로 알려져 있기 때문이다.²⁹⁾ 간은 그 기능상 정상적인 간의 기능을 할 수 있는 부분이 30%만 존재해도 생명에는 지장이 없고 잔존 정상 간조직이 비대해져 완전한 정상적인 기능을 할 수 있다 한다. 따라서 이제까지 알려진 방사선 생물학적 특성상 방사선 치료시 종양을 제외한 잔여정상 간조직을 최대한 방사선조사로부터 피할 수 있다면 방사선견딤선량은 기존의 30-35Gy보다^{10, 14)} 높은 선량이 될 수 있을 것이다. 그래서 방사선치료 계획시 잔여 정상 간조직의 방사선노출 정도를 선량과 체적과의 상관관계를 나타내는 선량체적히스토그램에 의해 정확하게 분석하는 것이 중요하리라 생각된다.^{16, 27)} 그러나 방사선치료시 간은 호흡에 의해 상하로 운동을 하고 그 범위는 일반적으로 2-3cm 로 알려져 있고, 문헌상에서의 보고에서는 호흡에 의한 운동으로 간의 체적의 계산이 12%정도의 오차범위를 가지고 NTCP값은 15%의 차이가 발생한다고 한다.³⁵⁾ 한편 일본을 중심으로 몇몇 연구기관에서는 호흡에 의한 정상간의 방사선피해를 줄이기 위해서 호흡주기에 따른 일정 호흡 지점에서만 방사선조사를 할 수 있는 방법을 연구 개발하여 임상에서 부분적으로 적용하고 있다.^{22, 23)} 호흡주기에 따른 방사선 치료에 있어서 문제점으로 추측되는 방사선치료 시간이 길어져서 한 환

자를 치료하는데 걸리는 시간이 길어지는 단점이 발생하는데 전신 상태가 나쁜 환자에서 일정한 자세로 장시간 치료하는 것은 어려움이 있다. 따라서 이런 문제점을 극복하기 위해서는 우선 선형가속기에서 분당 방출되는 방사선의 양이 많이 나올 수 있는 고선량을 선형가속기로 조사시간을 줄이는 것이 필요하다고 생각된다. 간에 대한 호흡주기에 따른 치료시 고려되어야 할 점으로는 치료계획용 컴퓨터 단층 촬영시에도 치료시와 같은 기기를 이용하여 같은 호흡주기에 따른 영상을 얻는 것 역시 중요하다.³⁶⁾

한편 정상간 조직과 주변정상장기의 방사선피해를 줄이기 위해서 이용되고 있는 3-차원 입체조형치료는 진단 방사선학의 눈부신 발전에 힘입어 정확하게 종양의 위치와 크기를 파악하고 주변정상장기의 위치관계를 알게 됨으로서 정밀한 조사 영역을 정하여 치료하고, 다양한 각도에서 방사선을 조사하여 특정장기의 방사선 피폭을 줄이고, 방사선에 예민한 장기를 방사선 조사방향에서 특별히 피할 수 있다는 장점을 컴퓨터치료계획상에서 가지기 때문에 방사선치료 후 발생할 수 있는 합병증을 줄일 수 있다는 이론적 배경을 가진다.^{19, 25)} 몇 밀리미터의 오차를 줄이기 위한 정밀한 컴퓨터치료계획은 호흡에 의해 상하로 2-3cm 정도로 움직이는 장기에 적용하는 것에는 많은 한계를 가진다고 생각된다. 계획용표적체적이나 주변정상장기의 위치와 용적을 정확하게 파악하는데 환자의 자세의 불안정, 장기의 정상적인 움직임, 그리고 setup 오차 등을 고려해야 할 점들이다.³⁷⁾

이에 본 연구자는 현재 시점에서 간에 대한 방사선 치료방법의 기술적인 측면에서 지향되어야 할 방향이 3-차원적 입체 조형치료 만이 아니라고 생각되어 이론상 수치적 비교분석을 해보고자 연구를 진행하였다. 간에 대한 3-차원적 입체조형치료를 활발히 진행 중인 Michigan 대학에서의 연구보고에서도 간의 장하운동을 고려하여 2-3cm의 상하 범위를 넓혀 계획용 표적체적을 정하였다.¹²⁾ 즉 아직까지 간의 호흡에 의한 정상적인 움직임을 해결 한 상태에서 3-차원적 입체조형치료를 간암에 적용한 보고는 없다. 다만 호흡에 의한 간의 움직임을 계획용표적체적에 포함하여 3-차원 입체조형방사선치료를 간암에 적용한 치료결과에서는 생존율의 향상을 아직까지 증명하지는 못했지만 치료에 의한 반응율은 향상되고 있고,³⁸⁾ 비교적 장기간 추적된 치료 결과에서 간에 대한 합병증 없이 종양을 조절 할 수 있다고 보고²⁰⁾하여 3-차원 입체조형치료 자체만으로 만족스럽지는 않지만 그 효과는 증명 되어지고 있다.

방사선 치료를 계획함에 있어서 궁극적인 목적은 종양을 제어 할 수 있을 만큼의 충분한 선량을 조사하기 위해서 계획용표적체적내의 선량의 균일성을 얻으면서 정상 주변조직의 방사선 노출은 최대한 줄이는 것이라 할 수 있는데, 간암의 모양은 간내에서 비교적 원형이나 타원형을 하고 있는 경우가 많고 주변에 방사선에 예민한 근접한 주요정상장기가 우측 신장을 제외하면 없기 때문에 기존의 치료계획방법으로도 종양에 대한 위치와 크기만 정확하게 파악 할 수 있다면 기존의 전후 평행대향조사법인 2-문 조사법이나 췌기를 이용한 3-문 조사법 그리고 4-문 조사법(box)으로도 계획용표적체적내의 선량의 균일성을 구하는데 다른 장기에서와 같은 어려움은 없다고 생각된다.²⁵⁾ 본 연구 결과에서 오히려 기존의 2-차원 치료 계획법이 계획용표적체적내의 균일성은 오히려 3-차원적 치료계획법에 뒤떨어지지 않음을 확인 할 수 있었다. 전간의 용적에 대한 잔존정상간(肝)의 용적의 비율은 약 3%정도 더 2-차원적 치료계획에서 높았는데 그 이유는 호흡에 의한 상하움직임을 계획용표적체적을 결정하는데서 제외한 결과이며 이것이 방사선 생물학지표인 NTCP를 계산하는데 어느 정도의 영향을 미치는지를 분석해 보았다. 현재까지 본 연구와 유사한 연구 결과 보고는 거의 없기 때문에 문헌상에서의 연구 결과와 본 연구 결과를 비교하기에는 어려움이 많았다. 그러나 결과에서 보듯이 기존의 치료방법에서 호흡에 의한 움직임을 배제하고 컴퓨터치료계획을 실시한 결과 3-차원 입체조형치료를 비하여 뒤떨어지지 않았고 오히려 약간 우월할 수도 있음이 관찰되었다. 간에 대한 3-차원 입체조형치료시 치료계획상의 기술적인 방법의 개선은 계획용표적체적내의 선량의 균일성을 얻기 위한 목적보다는 주변정상간조직과 장기의 방사선 피해를 줄이는데 그 목적이 있고 결과들도 주변 장기의 피해를 줄이는데 도움이 된다고 주장하고있다.¹⁸⁾ 방사선 간염을 예측하는데 좀더 정확한 정보를 얻기 위해 NTCP값을 계산하는데, 이 계산법이 가지는 한계점은 다음과 같다. 첫째, 데이터가 대부분 장기 전체를 방사선 조사한 후 추적조사하여 5년내에 5%와 50% 합병증이 기대되는 견딜선량값을 이용한다는 점이고, 부분 장기를 조사한 결과는 가끔 사용된다는 점인데,^{39, 40)} 실제 환자 치료시에는 장기의 일부분만 조사되기 때문에 전체 장기를 조사한 자료를 부분장기를 조사한 장기에 적용하기는 어렵다. 둘째, 조사면 배열은 주로 평행대향조사이고 조직의 불균일성을 보정 해주지 않은 선량값을 사용하였다는 점이다.³¹⁾ 하지만 실제 3-차원 입체 조형치료시에는

다양한 각도에서 최소한 5개 이상의 빔방향에서 조사되어 방사선 생물학적인 측면에서 같은 결과를 예측하기는 어렵고 3-차원 입체 조형치료계획시에는 조직의 불균일성을 최대한 보정하기 때문에 계산되는 선량값에는 차이가 있다. 마지막으로 대부분 전담선량으로 정해진 값들은 각기 다른 연구기관에서 다른 자료를 문헌상에서 보고한 것을 통합하여 사용하기 때문에 데이터의 신뢰성이 떨어진다는 점이다.³¹⁾ 따라서 계산된 NTCP 값이 예를 들어 0.5인 경우 방사선 간염이 발생할 확률이 50%를 의미하지는 않는다. 그러나 비교하고자 하는 두 개의 치료계획상에서 정상장기의 체적에 따른 방사선량을 이용하여 NTCP 값을 계산한 경우 NTCP 값이 큰 경우 방사선 간염이 발생할 확률이 더 높을 것으로 예측할 수 있다.

호흡주기에 따른 방사선치료가 가능하기 위해서는 호흡주기에 따른 선형가속기를 제어 할 수 있어야하고 주변장치들인 모의 치료계획용 기기들과의 원활한 정보의 교환이 역시 필요하다. 또한 3-차원 입체조형치료시 호흡주기에 따라 방사선 치료를 가능하게 하기 위한 노력이 필요하다고 생각되며 이런 복잡한 치료를 시행함에 있어서 발생 할 수 있는 실수를 방지할 수 있는 장치들이 아울러 개발되어야 할 것으로 생각된다.

결 론

간에 대한 방사선치료시, 일정한 호흡주기에서 방사선치료계획을 하는 경우 계획용표적체적을 결정함에 있어서 호흡에 의한 간의 상하 운동범위를 고려하지 않기 때문에 정상간여간의 체적을 약 3%정도 더 보존할 수 있었다. 특히 종양의 체적이 클수록 또는 종양이 간의 상하 표면에 접해있지 않고 간실질내에만 있을 경우에는 상대적으로 더 많은 양의 정상 간 조직을 방사선에 노출되는 정상간 조직을 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 단위 시간당 다량의 방사선을 방출할 수 있는 선형가속기가 개발되어 호흡주기에 따른 2-차원 방사선치료시 1회 치료에 소요되는 시간이 실제 임상에서 적용하기 어려울 만큼 길어지는 단점을 극복 할 수 있다면, 3-차원 입체조형치료에서의 방사선 간염을 줄이기 위한 노력의 결과와 유사한 효과를 기대 할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구의 컴퓨터 계획상 예측된 결과들이 실제 임상치료에서 확인 될 수 있도록 많은 연구들이 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Kim IS, Kim HJ, Oh HC, et al. The cancer registry program in Kangwha country, the first report. *Korean J Epidemiol* 1984; 6:100-105
2. Lotze MT, Flickinger JC, Carr BI. Hepatobiliary neoplasms. In : DeVita VT, Hellman S, Rosenberg SA, eds. *Cancer principles & practice of oncology*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Co. 1993; 883-914
3. Ringe B, Pichlmayr R, Wittekind C, Tusch G. Surgical treatment of hepatocellular carcinoma: Experience with liver resection and transplantation in 198 patients. *World J Surg* 1991; 15:270-285
4. Lee Y-T N. Systemic and regional treatment of primary carcinoma of the liver. *Cancer Treat Rev* 1977; 4:195-212
5. Sasaki Y, Imaoka S, Kasugai H et al. A new approach to chemoembolization therapy for hepatoma using ethiodized oil, cisplatin, and gelatin sponge. *Cancer* 1987; 60:1194-1203
6. Shijo H, Okaazaki M, Higashihara H, et al. Hepatocellular carcinoma: a multivariate analysis of prognostic features in patients treated with hepatic arterial embolization. *Am J Gastroenterol* 1992; 87: 1154-1159.
7. Yu YQ, Xu DB, Zhang WZ, Yuan YF, Li GH. Randomized study of chemoembolization as an adjuvant therapy for primary liver carcinoma after hepatectomy. *J Cancer Res Clin Oncol* 1995; 121: 364-366
8. Guthrie CM, Leahy AL, Redhead DN, Garden OJ. Transcatheter hepatic arterial therapy for symptomatic liver malignancy. *J Royal Coll Surg Edinburgh* 1991; 36:384-387
9. Haddad E, Le Bourgeois JP, Kuentz M, Lobo P. Liver complications in lymphomas treated with a combination of combination of chemotherapy and radiotherapy preliminary results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1983; 9:1313-1319
10. Kim TH, Pannahon AM, Friedman M, Webster JH. Acute transient radiation hepatitis following whole liver irradiation. *Clin Radiol* 1976; 27:449-454
11. Poussin-Rosillo H, Nisce LZ, D'Angio GJ. Hepatic radiation tolerance in Hodgkin's Disease patients. *Radiology* 1976; 121:461-464
12. Lawrence TS, Ten Haken RK, Kessler ML, et al. The use of 3-D dose volume analysis to predict radiation hepatitis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992; 23:781-788.
13. Cohen L. The tissue-volume factor in radiation

- oncology. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1982; 8: 1771-1774
14. Ingold JA, Reed GB, Kaplan HS, Bagshaw MA. Radiation hepatitis. *Am J Roentgenol* 1965; 93: 200-208
 15. Ten Haken RK, Martel MK, Kessler ML, et al. Use of Veff and iso-NTCP in the implementation of dose escalation protocols. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993; 27:689-695
 16. 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
 17. Emami B, Lyman J, Brown A, et al. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991; 21:109-122
 18. Ten Haken RK, Lawrence TS, McShan DL, Tesser RJ, Fraass BA, Lichter AS. Technical considerations in the use of 3-D beam arrangements in the abdomen. *Radiother Oncol* 1991; 22: 19-28
 19. Lee SW, Oh YT, Kim WC, et al. Dosimetric characteristics on penumbra regions of the multileaf collimator as compared with the lead alloy block. *J Korean Soc Ther Radiol* 1995; 13:391-396
 20. Robertson JM, Lawrence TS, Dworzanin LM, et al. Long-term results of hepatic artery fluorodeoxyuridine and conformal radiation therapy for primary hepatobiliary cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997; 37:325-330
 21. Ten Haken RK, Lam KL, Balter JM, Robertson JM, Hazuka MB, Andrews JC. Assessment of liver and lung motion for conformal therapy using radiopaque markers. *Med Phys* 1993; 20:1293
 22. Kubo HD, Hill BC. Respiration gated radiotherapy treatment: a technical study. *Phy Med Biol* 1996; 41:83-91
 23. Ohara K, Okumura T, Akisada M, et al. Irradiation synchronized with respiration gate. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 17:853-857
 24. Ten Haken RK, Balter JM, Marsh LH, Robertson JM, Lawrence TS. Potential benefits of eliminating planning target volume expansions for patient breathing in the treatment of liver tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997; 38:613-617
 25. Niemieko A, Goitein M. Calculation of normal tissue complication probability and dose-volume histogram relation schemes for tissues with a critical element architecture. *Radiother Oncol* 1991; 20:166-176
 25. Lee SW, Kim GE, Keum KC, et al. Clinical application of 3-D conformal radiotherapy for carcinoma of the ethmoid sinus: I. Comparative analysis between conventional 2-D and 3-D conformal plans. *J Korean Soc Ther Radiol* 1997; 15:287-296
 27. ICRU Report 50. Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, 1993
 28. Lyman JT. Complication probability as assessed from dose-volume histograms. *Radiat Res* 1985; 104:S-13-S-19
 29. Jackson A, Ten Haken RK, Robertson JM, Kessler ML, Kutcher GJ, Lawrence TS. Analysis of clinical complication data for radiation hepatitis using a parallel architecture model. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995; 31:883-891
 30. 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
 31. Kutcher GJ, Burman C. Calculation of complication probability factors for nonuniform normal tissue irradiation: the effective volume method. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 16:1623-1630
 32. Kutcher GJ, Burman C, Brewster L, Goitein M, Mohan R. Histogram reduction methods for calculation complication probabilities for 3D treatment planning evaluations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991; 21:137-146
 33. Burman C, Kutcher GJ, Emami B, Goitein M. Fitting of normal tissue tolerance data to an analytic function. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991; 21: 123-135
 34. Lawrence TS, Dworzanin LM, Walker-Andrews SC, et al. Treatment of cancers involving the liver and porta hepatis with external beam irradiation and intraarterial hepatic fluorodeoxyuridine. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1990; 20:555-561
 35. Balter JM, Ten Haken RK, Lawrence TS, Lam KL, Robertson JM. Uncertainties in CT-based radiation therapy treatment planning associated with patient breathing. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996; 36:167-174
 36. Jones KR. A respiration monitor for use with CT body scanning and other imaging techniques. *Br J Radiol* 1982; 55:530-533
 37. Urie MM, Goitein M, Doppke K, et al. The role of uncertainty analysis in treatment planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991; 21:91-107
 38. Robertson JM, Lawrence TS, Dworzanin LM, et

- a1. Treatment of primary hepatobiliary cancer with conformal radiation therapy and regional chemotherapy. J Clinl Oncol 1993; 11:1286-1293
39. Emami B, Lyman J, Brown A, et al. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. NCI Contract Report for N01-CM-47316, N01-CM-47695, N01- CM-47696 and N01-CM-47697
40. Rubin P, Casarett G. A direction for clinical radiation pathology the tolerance dose. In: Vaeth JM, ed., Frontiers of Radiation Therapy and Oncology. Vol. 6. Baltimore: University Park Press 1972:1-16

= 국문 초록 =

간암에서 호흡주기를 고려한 2-차원 방사선 치료방법과 입체조형 치료방법에서 방사선 간염 예측의 비교연구

연세대학교 의과대학 연세암센터 치료방사선과학교실*, 서울보건대학 방사선과†

이상욱* · 김귀연* · 정갑수† · 이창걸* · 성진실* · 서창욱*

목 적 : 방사선치료계획시 호흡에 의한 장기의 움직임이 고려하는 경우 호흡이 방사선치료에 따른 합병증 발생에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

대상 및 방법 : 3-차원 입체조형치료를 받은 간암 환자 4례를 대상으로 하여 방사선치료 계획용컴퓨터상에서 재분석을 하였다. 호흡주기에 따라 방사선치료를 시행 받는다고 가정하여 계획용표적체적의 상하 범위를 줄여 기존의 2-차원 치료계획을 시행한 경우와 자유롭게 호흡하면서 계획된 3-차원 입체조형치료에서 정상간과 주변정상장기의 선량체적히스토그램과 normal tissue complication probability(NTCP)를 비교하였다.

결 과 : 간의 호흡에 의한 상하 운동범위는 2-3cm 이었고 호흡주기에 따른 기존의 2차원 방사선치료 방법과 자유롭게 호흡하면서 시행된 3-차원적 입체조형치료 간의 계획용표적체적과 잔여정상간, 주변정상장기의 선량체적히스토그램의 뚜렷한 차이는 관찰할 수 없었다. 또한 정상잔여간의 NTCP의 차이도 관찰할 수 없었다.

결 론 : 간에 대한 방사선치료시 호흡에 의해 장기의 움직임을 고려한 방사선치료계획은 방사선치료에 따른 합병증 발생에 매우 중요한 역할을 할 것으로 생각되었고 향후 이 문제점을 극복할 수 있는 많은 연구가 필요 할것으로 생각된다.