대한방사선종양학회지 2000;18(2):107 113

간암환자에서 Electronic Portal Imaging Device(EPID)를 이용한 자세 오차 및 종양 이동 거리의 객관적 측정

연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실, 연세암센터

금기창 ·이상욱 ·신현수 ·김귀언 ·성진실 ·이창걸 ·추성실 ·장세경 ·서창옥

목 적 : 간암의 3차원 입체조형치료계획시 electronic portal imaging device (EPID)를 이용한 검증영상으로 경계여유 결정에 필요한 객관적 기초자료를 얻으므로써 방사선치료의 정확성을 높이고 본 기기를 이용하여 방사선치료의 정도관리 측면에서의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법 : 10명의 간암 환자에서 EPID를 이용하여 1회 방사선 치료 중 약 4-7회의 검증영상을 획득하였고 총 10회 분할 치료기간 동안 반복하여 시행하였다. 방사선치료 자세 고정시 발생할 수 있는 각 개인의 자세 오차를 구하여 치료간 발생하는 환자의 위치 이동을 분석하였고, 호흡으로 인한 간의 상하 움직임의 정도를 측정하여 계획용표적체적(Planning Target Volume, PTV)의 결정시 필요한 적정 경계여유를 구하였다.

결 과 : 검증영상 분석 결과 간암의 치료시 자세이동에 의한 자세 오차는 x축으로 3.0 mm, 표준편차는 1.70 mm 였고 y축으로 3.7 mm, 표준편차 1.88 mm 였다. 따라서 각 축을 중심으로 5 mm 이내 였다. 또한 호흡에 의한 간의 상하 운동 범위는 평균 8.63 mm이었고 표준편차는 1.48 mm 였다. 따라서 계획용표적체적 결정시 종양에 적어도 15 mm의 경계여유가 더 필요하다

결 론 : EPID는 3차원 입체조형치료계획시 종양의 경계여유 결정에 매우 유용하며 나아가서 방사선치료의 정도관리에도 크게 기여할 것이다.

핵심용어 : 간암, EPID, 방사선 치료, Setup 오차

서 론

방사선 치료에 있어서 분할 치료로 인한 자세 오차는 종양의 국소 제어 실패의 원인이 되거나 주변장기에 심각한 합병증을 만들 수 있다.[1, 2] 따라서 계획된 방사선량이 정확하게 조사되는지 여부를 확인하는 것은 매우 중요하다. 검증영상의 획득은 조사면이 종양을 충분히 포함하는지를 확인할 수 있는 좋은 방법중의 하나이며 검증영상의 확보는 앞으로 발생할 수 있는 의료분쟁에서 중요한 법적 증거로도 활용될 수 있음으로 방사선치료의 근거로 보관해야 할 것이다.

일반적으로 이제까지의 검증영상 획득 방법은 방사선치료 전후에 필름을 이용하여 얻는 방법이었는데, 새로이 개발된 electronic portal imaging device (EPID)는 기존의 필름을 이용한 방법을 대신하여 매우 유용하고 다양한 역할을 할 수 있음이 밝혀지고 있다.[3 12] 기존의 필름을 통한 검증영상 획득 방법은 실시간 영상(real time)이 아니라는 중요한 단점이 있고 필름 카세트의 위치에 따라 많은 제한점이 있는데, 예를 들어 전면조사(anterior-posterior port)에서만 비교적 안정적으로 필름 카세트를 고정 할 수 있어 촬영이 가능하고 후면조사(posterior-anterior port)나 좌우 측면조사(lateral port)에서는 필름 카세트를 고정할 수 있는 지지대가 없으면 촬영이 불가능하다. 카세트 지지대를 준비한다고 해도 고정이 불안정하며 필름의 확대 비율도 정확히 알 수 없기 때문에 위치이동이 필요한 경우 정확한 교정이 용이하지 않다. 또한 검증영상을 얻기 위한 조사선량을 처방선량에서 빼주어야 하는 불편함이 있고 치료시간이 길어지는 단점이 발생하는데 EPID는 이런 문제점들을 대부분 극복하였다고 하겠다. 또한 움직이는 장기에 대한 방사선 치료 시 실제 장기의 움직임을 파악하면서 방사선치료를 할 수 있는 방법은 기존의 필름촬영 방법으로는 불가능하나 제한적이나마 현재 개발된 EPID로 가능하다.

근래 시도 되고있는 3-차원 입체조형치료는 주변 정상 조직이나 장기를 최대한 보호하기 위해서 다양한 각도의 조사면이 이용되기 때문에 기존의 필름을 이용한 검증 방법은

본 연구는 1997년도 보건복지부 암정복추진연구개발사업 지원(주관 연구책임자 김귀언)으로 이루어진 것임

이 논문은 2000년 12월 30일 접수하여 2000년 6월 3일 채택되었음.

책임저자 : 김귀언, 연세의료원 연세암센터 방사선종양학과

Tel : 02)361-7631, Fax : 02)312-9033

E-mail : therapy@yumc.yonsei.ac.kr

한계가 많다. 그리고 전산화단층촬영에 의한 모의치료계획의 수립은 종양과 주변장기의 관계를 정확하게 3-차원으로 재구성하여 경계여유(safety margin)의 최소화를 필요로 하기 때문에 자세 오차를 최소화하고 검증영상을 통해 치료의 정확도를 정량적으로 분석할 수 있어야 한다[13, 14]. 3차원 입체조형치료는 매우 우수한 치료법임에는 틀림 없지만 그 과정 자체가 매우 복잡하므로 계획된 치료가 오차 없이 실행될 가능성이 기존의 치료방법에 비해 상대적으로 낮을 것으로 기대 되는데, 이와 같은 치료의 불확실성은 종양제어 실패나 방사선치료에 의한 합병증 발생에 지대한 영향을 미치게 되므로 정도관리(quality assurance) 측면에서 3차원 입체조형치료의 안정성을 최대한 유지하기 위하여 EPID를 이용한 기초모델 연구가 필요하다고 하겠다.

따라서 본 연구의 목적은 EPID를 이용하여 간암 환자에서 얻은 검증영상(verification portal image)을 분석하여 매번 치료 시 발생하는 자세 오차와 호흡에 의한 간의 움직임을 객관적으로 파악하여 3차원 입체조형치료계획시 적절한 경계 여유를 제시하고, 방사선 치료의 정도관리 측면에서의 유용성을 알아보고자 함이다.

대상 및 방법

1. 대 상

1998년 6월부터 1999년 2월까지 연세암센터 방사선종양학과에서 간암으로 진단을 받고 방사선치료를 시행한 10명의 환자를 대상으로 하였다. 연구대상은 EPID (Portal Vision, Matrix ion chamber type, Varian)가 장착된 선형가속기(Clinac 2100C/D)에서 10회 이상 분할 방사선치료를 받고, 치료계획에서 전후면조사(anterior-posterior port)가 포함되며, 전후면 조사면(anterior-posterior radiation field)에서 setup 오차를 측정하기 위해서 척추의 번호를 용이하게 확인할 수 있고, 간의 호흡에 의한 상하 운동범위를 확인하기 위해서 횡격막이 조사영역에 포함된 환자들을 대상으로 하였다(Fig. 1).

2. 방 법

검증영상을 모의치료사진과 비교하여 자세 오차를 구하였으며, 방사선조사 중 획득한 검증 영상들 중에서 종양의 해부학적 위치를 도식화하여 비교하고 호흡에 의한 종양이동거리를 측정하였다. 자세 이동에 의한 오차와 호흡에 의한 종양이동거리를 고려한 적정 경계를 확립하고자 하였는데, 이러한 일련의 과정은 다음과 같다.

모의치료계획시나 실제 방사선치료시 호흡은 평상시 호흡하듯이 얕은 호흡을 하게 하였다. 검증 영상은 전면조사에서 획득하였다. 매 치료 시 조사시간(Monitor Unit)이 허용 하는 범위에서 최대한의 검증영상을 구하였다. 환자에 따라 4회에서 7회의 검증영상을 얻을 수 있었고 10일간에 걸쳐서 증례당 평균 55회의 검증영상을 얻을 수 있었다. 단 검증영상을 얻는 기간 중 자세 오차의 교정은 시행하지 않았고 치료 과정의 실수에 의한 심각한 자세 오차의 교정이 필요한 경우는 연구 대상에서 제외하였다.

검증영상의 평가를 위하여 모의치료사진을 EPID 시스템에 입력한 후 모의치료사진의 스케일에 따라 검증영상의 확대비율을 조정하여 일치시켰다. EPID 시스템에서 모의치료사진과 검증영상을 불러내어 횡격막과 우측 늑골을 확인한 후 횡격막과 우측 늑골각(costal angle)을 도식화하였으며 조사면에 포함되는 척추 및 척추 뼈의 번호를 확인하였다. 이를 토대로 모의치료사진에서 도식화한 해부학적 구조물들을 검증영상에 겹치게 하여 자세 오차를 정량적으로 산출하였다. 방사선치료 중 환자의 움직임에 의한 오차는 없는 것으로 가정하고 매 치료 시 얻은 검증영상 중에서 첫 번째 검증영상만을 골라 10개의 검증영상을 분석하였다. 모의치료사진의

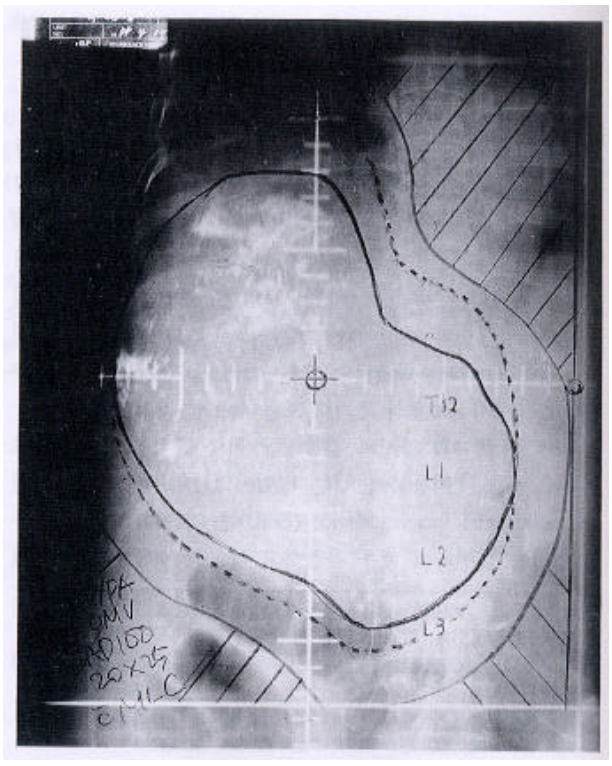

Fig. 1. This figure shows the radiation fields of eligible case.

척추뼈를 기준으로 하였는데, 호흡에 의해 움직임이 없는 척추의 위치를 이용하여 x축과 y축으로의 이동거리를 계산하였다. 자세 오차는 x축과 y축에서 각각 분석하였고 환자를 중심으로 좌측을 (+)로 우측을 (−)로 정의하였으며 머리쪽을 (+)로 족부쪽을 (−)로 정의하였다. 간의 호흡에 의한 상하 움직임은 같은 날 얻은 검증영상에서 서로 비교하여 횡격막이 최하로 내려간 검증영상과 최상으로 올라간 검증영상에서 횡격막 위치의 차로 정의하였다. 검증영상이 간의 상하 움직임이 최고점이 되는 곳에서 시행되었는 지 확인하기 위하여 모의치료 계획 시 모니터로 호흡에 따른 간의 움직임을 측정하였다.

결 과

호흡에 의해 움직임이 없는 척추의 위치를 모의치료사진과 검증영상에서 비교하여 x축과 y축으로의 오차를 계산하였다. 최대 자세 오차의 범위는 −7 mm에서 +7 mm이었지만 대부분의 자세 오차는 각 축의 방향으로 5 mm 이내임을 알 수 있었다(Fig. 2). X축으로 5 mm 보다 큰 경우는 100번의 측정 중 15번이었고, y 축으로는 16번이었다. 자세이동의 거리의 평균값은 x축으로 3.0 mm, 표준편차는 1.70 mm 였고 y축으로 3.7 mm, 표준편차 1.88 mm 였다(Table 1). 결과에 의해 방사선치료 범위를 결정하기 위해서 경계 범위를 정하는

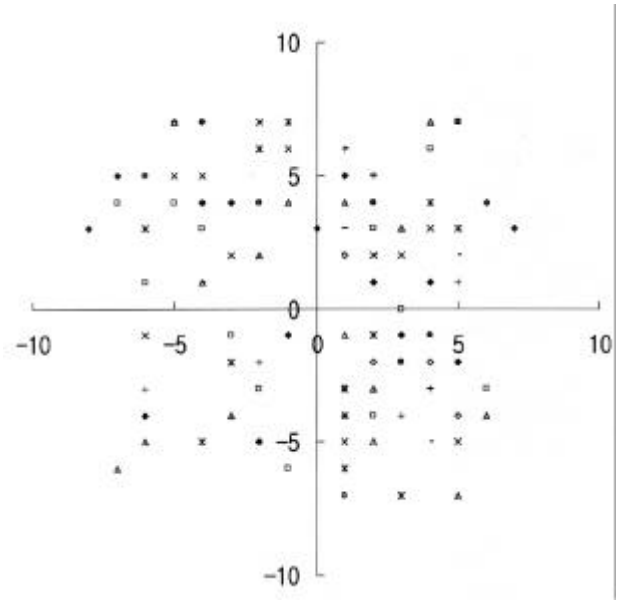

Fig. 2. Scatter plots of individual setup displacements along the lateral (x axis), the cranio-caudal (y axis) direction in 10 patients with the hepatocellular carcinoma.

객관적인 자료를 얻을 수 있었는데 systemic 오차와 random 오차로 분석하지는 않은 상태에서 자세 오차에 의한 자세이동은 5.0 mm 이내로 발생한다고 예측할 수 있었다.

1회 치료시 얻은 평균 5.5장의 검증영상을 얻을 수 있었는데 횡격막의 상대적 위치에 따른 거리를 간의 상하 운동으로 정의하였다. 각 환자에 있어서 방사선치료 중 간의 상하 움직임은 다음과 같다(Table 2). 검증영상에서 산출된 간의 상하 운동은 평균 8.63 mm이었다. 따라서 적어도 종양에 상하로 각각 15 mm의 경계여유를 두어야 하겠다.

모의치료계획 시 모니터에서 관찰된 간의 상하운동범위와 검증영상으로 측정된 수치와는 7.6 mm의 차이가 발생하였다(Table 3). 각기 다른 날에 얻은 검증영상의 간의 상하 움직임을 비교하고자 하였다. 그렇게 하기 위해서 매번 치료 시 발생하는 setup 오차를 일정한 날 얻은 검증영상에서 보정하여 주어야만 동일 얻은 검증영상과 같은 조건에서 간의 움직임을 평가할 수 있다고 생각하였다. 각기 다른 날에 얻은

Table 1. Setup Displacement in Hepatocellular Carcinoma of the Liver (10 Cases)

Case \ Date	x axis (mm)	y axis (mm)
1	2.2±1.23	3.4±2.07
2	3.5±1.65	4.1±1.52
3	2.3±1.49	2.7±1.34
4	2.1±1.10	3.4±2.37
5	2.8±1.32	3.5±1.96
6	3.2±1.81	3.8±2.34
7	4.2±1.75	3.5±1.65
8	3.4±1.96	5.1±1.79
9	3.3±1.64	4.1±1.97
10	3.1±2.28	3.0±1.05
Average	3.0±1.70	3.7±1.88

Table 2. Physiologic Movement in Hepatocellular Carcinoma of the Liver (10 Case : mm)

Case \ Date	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	Average ±SD
1	8	10	11	10	9	6	7	11	4	6	6.8±2.39
2	10	11	9	11	8	7	9	10	10	11	9.6±1.35
3	5	6	6	6	4	6	5	5	6	4	5.3±0.82
4	8	8	9	8	8	7	7	8	7	8	7.9±0.74
5	9	9	9	10	10	9	11	9	9	8	9.3±0.82
6	10	10	10	9	9	11	11	9	9	9	9.7±0.82
7	10	10	9	11	11	11	9	9	9	10	9.9±0.88
8	7	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7.4±0.52
9	9	9	9	10	10	8	8	8	9	9	8.9±0.74
10	11	11	11	11	11	9	9	9	10	10	10.1±0.86
Average											8.63±1.48

Table 3. Comparison of Measured Range by Simulation and Irradiation Period in Hepatocellular Carcinoma of the Liver

Case	Simulation film (mm)	Verification film (mm)	Corrected (mm)
1	15.0	8.2±2.39	13
2	20.0	9.6±1.35	15
3	13.0	5.3±0.2	12
4	15.0	7.9±0.74	12
5	17.0	9.3±0.82	14
6	20.0	9.7±0.82	16
7	15.0	9.9±0.88	13
8	12.0	7.4±0.52	11
9	15.0	8.9±0.74	12
10	17.0	10.1±0.86	15
Average	16.2	8.63±1.480	13

검증영상을 측정된 setup 오차만큼 보정하여 얻은 corrected data는 Table 3과 같다. 모의치료 계획 시 측정된 수치와는 2.9 mm 의 차이를 보였는데 실제 검증영상에서 측정된 간의 상하 운동범위가 모의치료계획 시 측정된 수치보다 작은 이유는 검증영상이 간의 상하 운동 중 정점에서 검증영상이 얻어지지 않았기 때문으로 보인다.

고안 및 결론

간에 대한 외부 방사선 치료 시 매번 발생할 수 있는 setup 오차와 간의 호흡에 의한 상하움직임을 정량적으로 분석하는데 있어서 EPID의 역할은 결정적이라 할 수 있다.[13, 14] 3차원 입체조형치료를 시행할 경우 치료하고자 하는 표적체적(target volume)에 대한 경계여유(safety margin)를 최소화하기 위해서는 방사선 치료계획 시 종양의 위치와 범위에 대한 정확성이 요구된다. 방사선 치료 시 setup 오차 역시 최소화 되어야 하고, 환자나 종양의 움직임에 의한 조사면의 이탈(geographic miss)의 가능성을 최소화 하는 것이 매우 중요하기 때문이다. 하지만 방사선 치료 시 setup 오차는 필연적으로 발생할 수밖에 없어 이런 문제를 극복하기 위해서는 오차를 줄이기 위한 노력과 더불어 방사선 치료계획 시 적절한 경계여유를 설정하는 것이 필수적이며 위의 결과는 검증영상을 통해 확인되어야 한다.[15, 16]

간에 대한 방사선 치료계획 시 다른 장기에 대한 치료와 달리 고려해야 할 점은 호흡에 의한 간의 움직임이다. 간이 호흡에 의해 움직인다는 점이 방사선치료에 있어서 매우 중요한 요소임은 널리 알려져 있고 따라서 이에 대한 극복 방안들도 연구중이다.[17-22] 동적 장기라는 측면에서 간암과 유사한 폐암 방사선 치료에서 EPID 시스템을 이용한 QC/QA 프로그램이 이미 구축된 바 있는데, 실제로 폐암 환자에서 ultrafast computerized tomography를 이용하여 환자의 움직임을 측정한 경우, 중대한 지리적 결손이 15%, 중등도의 지리적 결손이 14%이고 폐문부의 종양도 측면으로 9.2 mm나 움직임이 있다고 하였다.[12, 23, 24] 경계여유의 검증 방법으로 필름을 이용한 방법이 통상 사용되었으나 필름을 현상해야 하는 불편함으로 인해 치료 중 검증영상의 평가와 자세 교정이 불가능하였고 치료 종료 후 평가와 교정을 시행해야 했었다. 그러나 최근 개발되어 3차원 입체조형치료에 실용화되고 있는 EPID는 환자를 치료하면서 불과 10초 내에 검증영상을 얻을 수 있게 되었고 즉시 자세 오차를 평가할 수 있게 되었다. 모의치료사진과의 비교를 통해 수치적으로 객관적인 비교도 가능하다는 장점을 가지고 있으며 이를 이용하여 자세 오차나 종양의 움직임을 측정한 결과도 보고되고 있다.[3, 7, 11, 13, 14, 25] EPID를 이용해 얻은 검증영상(verification portal image)을 분석하여 부정확한 자세고정에 의한 오차와 종양의 움직임 정도를 객관적으로 수치화 함으로써 방사선치료의 정확도를 높여 3차원 입체조형치료의 정도관리에 필요한 기초자료를 제공하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

간암의 방사선 치료 시 매번 발생하는 setup 오차는 10명의 환자가 10번 측정하여 총 100회 중 x축으로는 15회, y축으로는 16회에서만 5 mm 이상의 오차가 발생하였고 호흡에 의한 간의 움직임은 평균 8.63 mm 이었다. 따라서 계획용표적체적 결정시 적어도 15 mm 의 경계여유가 필요하다. 한편 x축 상의 오차보다 y축 상의 오차가 크게 측정된 이유는 자세 고정 시 피부에 표시한 선이 호흡에 의해 늑골이 상하로 움직이기 때문인 것으로 생각된다. 하지만 x축이나 y축 어느 방향으로 5 mm를 넘는 경우 자세의 교정에 의해 setup 오차를 줄여야 할 것으로 보인다. 실제 발생할 수 있는 오차는 x축과 y축으로 정한 두 축을 따른 이동과 더불어 복부의 복측과 배측을 잇는 또 다른 축으로의 오차가 있을 수 있고 이런 오차는 측면조사시 확인이 용이 하지만 전면 조사시에도 검증영상의 확대 또는 축소 비율에 의해 이론적으로 가능하지만 실제 임상에서 의미있는 수치의 오차를 발견하기란 쉽지 않았다. 회전 오차 역시 발생할 수 있는데 일반적으로 교정이 필요한 만큼 크지 않는 것으로 알려져 있고[12] 제3의 축에 의한 오차에 의해 발생하는 확대 비율의 차이에 의한 조사면 이탈은 종양제어에 중대한 영향을 미칠 만큼 심각하지 않아 효율적인 측면에서 전면조사시 고려하지 않아도 될 것이다.

본 연구에서는 검증영상을 얻는 중에 자세이동에 의한 오차를 교정 하지 않았기 때문에 실제 치료시에는 측정된 결

과보다 작은 오차범위를 보일 것으로 생각되었다. 자세이동에 의한 오차를 systemic 오차와 random 오차로 분석하여 오차 발생에 주된 원인을 밝혀내어 오차를 줄일 수 있는 방안을 제시하지 못했지만 앞으로 정밀한 치료를 위해서는 계속적인 관찰과 연구를 해야 할 것이다. 본 연구의 목적은 치료 중 발생하는 오차를 분석하였다기 보다는 일차적으로 검증영상의 획득방법으로 EPID의 유용성을 알아보고자 하였기 때문에 모의치료와 실제치료사이에 발생할 수 있는 장비에 의한 오차는 장비의 질 관리에 의해 해결해야 할 부분이기 때문에 본 연구에서는 분석하지 않았다.

한편 소프트웨어적으로 모의치료 사진과 좀더 빠른 시간 내에 자동화 프로그램에 의해 겹쳐져서 setup 오차를 파악하여 교정한다면 다른 각도에서의 방사선 조사도 정확해지는 장점을 가질 수 있을 것이다. 흉부 및 복부 방사선치료 시 환자의 자세를 고정하는 기구를 사용하는 것이 setup 오차를 줄일 수 있는지에 대한 결과는 논란이 있지만 대체적으로 부정적인 시각이 우세하다.[26 29] 이런 점을 고려한다면 매번 치료 중 자세를 교정하는 것은 계획된 선량을 표적체적에 조사하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대 된다.

본 연구에서 사용된 EPID는 진정한 의미에서 실시간 동영상이 아니기 때문에 간의 호흡에 의한 운동범위를 정확히 파악할 수는 없었다. 모의치료계획에서 확인된 간의 상하 운동범위와 비교하여 EPID를 이용한 검증영상의 상하움직임이 작게 측정되었는데 그 이유는 간이 실제 움직이는 범위 중 정확하게 상하 정점에서 영상을 얻을 수 없었기 때문으로 생각된다. 따라서 실시간 동영상이 가능한 EPID의 개발이 필요하다 할 수 있겠다. 만약 실시간 동영상이 가능한 EPID가 개발된다면 환자의 호흡정도를 검증영상으로 파악하여 상하 경계여유보다 작게 줄일 수 있을 것이다.

이와 같이 EPID에 대한 지속적인 연구를 통하여 간암의 3차원 입체조형치료계획에서 자세 오차와 종양의 움직임에 대한 객관적 수치를 측정하여 치료의 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대되며, 고가의 장비인 EPID의 성능 및 구성에 대한 지식을 축적시켜 향후 국내에서도 자체 생산할 수 있는 기술적 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 최근에 와서 그 중요성이 매우 강조되고 3차원 입체조형치료의 정도관리에도 크게 기여할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. **Kinzie JJ, Hanks GE, Maclean CJ, Kramer S.** Pattern of care study: Hodgkin's disease relapse rates and adequacy of portals. Cancer 1983; 52:2223-2226
2. **Balter J, Chen G, Pelizzari C, Krishnasamy S, Rubin S, Vijayakumar S.** Online repositioning during treatment of the prostate: A study of possible limits and gains. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1993; 27:137-143
3. **Bijhold J, Lebesque JV, Hart AAM, Vijlbrief R.** Maximizing setup accuracy using portal images as applied to a conformal boost technique for prostatic cancer. Radioth Oncol 1992; 24:261-271
4. **Van Tienhoven G, Lanson JH, Crabeels D, Mijnheer BJ.** Accuracy in tangential breast setup: A portal imaging study. Radioth Oncol 1991; 22:317-322
5. **Bel A, Herk MV, Bartelink H, Lebesque JV.** A verification procedure to improve patient setup accuracy using portal images. Radiother Oncol 1993; 29:253-260
6. **Reinstein LE, Pai S, Meek A.** Assessment of geometric treatment accuracy using time-relapse display of electronic portal images. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1992; 22:1139-1146
7. **Ezz A, Munro P, Porter AT.** Daily monitoring and correction of radiation field placement using a video-based portal imaging system: A pilot study. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1991; 22:159-165
8. **Meertens H, Herk MV, Bijhold J, et al.** First clinical experience with a newly developed electronic portal imaging device. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990; 18:1173-1181
9. **Bel A, Vos PH, Rodrigus PTR, et al.** High-precision prostate cancer irradiation by clinical application of an off-line patient set-up verification procedure, using portal imaging. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1996; 35:321-332
10. **Creutzberg CL, Althof VGM, de Hoog M, et al.** A quality control study of the accuracy of patient positioning in irradiation of pelvic fields. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1996; 34:697-708
11. **Kim WC, Park W, Kim HJ, et al.** Evaluation of usefulness of portal image using electronic portal imaging device (EPID) in the patients who received pelvic radiation therapy. J Korean Soc Ther Radiol 1998; 16:497-503
12. **Kim WC, Chung EJ, LEE CG, Chu SS, Kim GE.** Objective analysis of the set-up error and tumor movement in lung cancer patients using electronic portal imaging device. J Kor Soc Ther Raidiol 1996; 14:69-76
13. **De Neve W, Van del Heuvel F, De Beukeleer M, et al.** Routine clinical on-line portal imaging followed by immediate field adjustment using a tele-controlled patient couch. Radiother Oncol 1992; 24:45-54
14. **Hanley J, Lumley M, Mageras G, et al.** Measurements of patient positioning errors in three-dimensional conformal radiotherapy of the prostate. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1997; 37:435-444
15. **Goiten M, Busses J.** Immobilization error:some theoretical considerations. Radiol 1975; 117:407-412
16. **Kinzie JJ, Hanks GE, Maclean CJ, Kramer S.** Patterns of

care study: Hodgkin's disease relapse rate and adequacy of portals. Cancer 1983; 52:2223-2226

17. **Lee SW, Kim GE, Chung KS, Lee CG, Seong JS, Suh CO.** Comparative study between respiratory gated conventional 2-D plan and 3-D conformal plan for predicting radiation hepatitis. J Korean Soc Ther Radiol 1998; 16:455-467
18. **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
19. **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
20. **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
21. **Kubo HD, Hill BC.** Respiration gated radiotherapy treatment: a technical study. Phy Med Biol 1996; 41:83-91
22. **Ohara K, Okumura T, Akisada M, et al.** Irradiation synchronized with respiration gate. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1989; 17:853-857
23. **Chu SS, Suh CO, Loh JJK.** Treatment planning and dosimetry of small radiation fields for stereotactic radiosurgery. J Kor Soc Ther Raidiol 1989; 7:101-112
24. **Ross CS, Hussey DH, Pennington EC, Stanford W, Doornbos F.** Analysis of movement of intrathoracic neoplasms using ultrafast computerized tomography. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990; 18:671-677
25. **Boyer AL, Antonuk L, Fenster A.** A review of electronic portal imaging devices (EPIDs). Med Phys 1992; 19:1-16
26. **Hunt MA, Schultheiss TE, Desobry GE, Hakki M, Hanks GE.** An evaluation of setup uncertainties for patients treated to pelvic sites. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1995; 32:227-233
27. **Soffen EM, Hanks GE, Hwang CC, Chu JCH.** Conformal static field therapy for low volume low grade prostate cancer with rigid immobilization. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990; 20:141-146
28. **Song PY, Washington M, Vaida F, et al.** A comparison of four patient immobilization devices in the treatment of prostate cancer patients with three-dimensional conformal radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1996; 34:213-219
29. **Verhey L.** Immobilization and positioning patients for radiotherapy. Sem Radiat Oncol 1995; 5:100-114

Abstract

Measurements of Setup Error and Physiological Movement of Liver by Using Electronic Portal Imaging Device in Patients with Hepatocellular Carcinoma

Ki Chang Keum, M.D., Sang-wook Lee, M.D., Hyun Soo Shin, M.D.
Gwi Eon Kim, M.D., Jinsil Seong, M.D., Chang Geol Lee, M.D.
Sung Sil Chu, Ph.D., Sei-Kyung Chang, M.D. and Chang Ok Suh, M.D.

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

Purpose : The goal of this study was to improve the accuracy of three-dimensional conformal radiotherapy (3-D CRT) by measuring the treatment setup error and physiological movement of liver based on the analysis of images which were obtained by electronic portal imaging device (EPID).

Materials and Methods : For 10 patients with hepatocellular carcinoma, 4-7 portal images were obtained by using EPID during the radiotherapy from each patient daily. We analyzed the setup error and physiological movement of liver based on the verification data. We also determined the safety margin of the tumor in 3-D CRT through the analysis of physiological movement.

Results : The setup errors were measured as 3 mm with standard deviation 1.70 mm in x direction and 3.7 mm with standard deviation 1.88 mm in y direction respectively. Hence, deviation were smaller than 5 mm from the center of each axis. The measured range of liver movement due to the physiological motion was 8.63 mm on the average. Considering the motion of liver and setup error, the safety margin of tumor was at least 15 mm.

Conclusion : EPID is a very useful device for the determination of the optimal margin of the tumor, and thus enhance the accuracy and stability of the 3-D CRT in patients with hepatocellular carcinoma.

Key Words : EPID, Hepatoma, Radiation treatment, Setup error