

3차원 치료계획용 전산화단층촬영에서 영상증강을 위한 최적의 프로토콜에 관한 연구

연세의료원 암센터 방사선종양학과

이상규, 이석, 김주호, 백종걸, 조정희, 신동봉, 박재일

- 1. 목적 :** 방사선종양학과에서 3차원 치료계획용 전산화단층촬영 시 조영제 주입율에 따른 CT 값(hounsfield unit, H.U) 변화를 정량적으로 평가하여 최적의 영상증강효과 및 방사선치료계획을 위한 기초 프로토콜을 제시하고자 한다.
- 2. 대상 및 방법:** 연세암센터 방사선종양학과에서 3차원 치료계획용 전산화단층촬영을 시행한 상복부(폐암)환자 20명을 대상으로 하였다. 조영제 양(130mL)은 일정하게 고정하였고, 조영제주입율을 1.2, 1.5, 2.0 mL/sec로 변화시켜가며 조영제를 주입하면서 3차원 방사선치료계획영상에 적합한 조영제주입율(contrast flow rate)과 지연시간(delay time)을 도출하였고, CT 값을 측정하여 정량적 평가를 시행하였다. 관심부위는 폐동맥과 폐정맥으로 하였다. 그리고, 환자 기본정보, 조영제주입율, H.U 등 영상증강에 영향을 미치는 인자들을 통계처리 프로그램인 SPSS를 이용하여 최적의 영상을 획득할 수 있는 기초 프로토콜을 작성하였다.
- 3. 결 과 :** 폐암환자의 전산화단층촬영영상 획득 시 3차원 방사선치료계획에 적합한 영상을 얻을 수 있는 조건중 조영제주입율은 1.5 mL/sec 이었고, 지연시간은 60~70초이었다. 통계처리를 수행한 결과 환자의 기본정보 및 조영제주입율 등이 영상증강에 영향을 미치는 인자임을 알 수 있었다. 본 연구에서 작성한 기초 프로토콜을 이용하여 3차원 방사선치료계획 시 정확한 종양 및 정상조직 설정이 용이하게 되어 방사선치료 효율을 극대화할 수 있었다.
- 4. 결 론 :** 방사선종양학과에서 3차원 치료계획용 전산화단층촬영 시 사용할 수 있는 기초적인 영상획득 프로토콜을 도출하였고, 향후 더 많은 임상경험과 정량적 평가가 수반된다면 임상에 적극 사용할 수 있을 것이라 사료된다.

핵심용어: 전산화단층촬영영상, 조영제, 영상의 질, CT 값, 방사선치료

본 논문은 2002년도 대한방사선치료기술학회에서 우수논문상을 수상한 논문임.

서론

방사선치료의 목적은 정상조직에 부작용 없이 병소 부위의 국소조절 효과를 최대화하는 것이다. 전통적인 모의치료조준방법은 2차원적 방사선투과영상을 이용하기 때문에 종양과 정상조직의 3차원적 정보를 얻을 수 없어 치료계획을 세우는데 많은 어려움이 있었다. 이의 해결방안으로 최근 방사선치료목적으로 3차원치료계획용 전산화단층촬영영상을 획득할 수 있는 전산화단층촬영영상장치(CT Simulator)가 도입되어 사용되고 있다. 그리고 의료장비와 컴퓨터 시스템 및 영상재구성 알고리즘 등의 발전으로 진단영역과 치료영역에서 한 단계 높아진 영상을 얻을 수 있어 한 단계 높아진 의료 효과를 가져왔다. 진단영역에서 의료장비의 영상효과 발전으로 질병을 구분하는데 많은 발전을 가져왔으며, 장기나 조직의 해부생리학적 정보의 제공을 가능하게 하였다.¹⁾ 치료방사선의 3차원치료계획용 영상은 치료부위 결정과 정상조직을 보호하는 측면에서 볼 때 중요한 요소가 되었다. 전산화단층촬영영상장치로부터 획득한 영상을 재구성하여 디지털화재구성사진(digitally reconstructed radiography, DRR)을 얻을 수 있어 정확한 종양 및 정상조직의 위치 확인, 치료부위선정, 치료방향 등을 계획할 수 있게 되었다.

최적의 방사선치료계획을 수립하기 위해 다양한 의학 영상들이 사용되어지고 있는데, 이때 영상의 질 증진은 매우 중요한 역할을 하게 된다. 이를 가능케 하는 것이 바로 혈관 조영제이다.²⁻⁵⁾ 혈관 조영제의 역할은 진단학적으로 각종 질병들을 파악하는데 중요한 요소이며, 치료측면에서는 종양부위에 많은 양의 조영증강효과가 나타날 수도 있고, 주위장기와의 조영증강의 차이로 종양부위와 정상조직을 구분할 수 있는 중요한 요소가 된다.⁶⁻⁷⁾ 본과의 CT 검사 시 혈관 조영제에 대한 프로토콜을 진단영역의 프로토콜을 반영하여 검사하고 있다. 진단에서의 전산화단층촬영에 있어 조영제의 주입은 관심영역(portal vein, aorta, liver, etc.)을 정하고 CT 값(hounsfield unit, HU)을 제시하여 조영되는 시간과 투여

량을 각각의 장기별로 정상인의 혈액순환 시간을 계산하여 주입하고 있다.⁸⁾ 본과의 검사에서도 기본적인 배경은 진단의 이론과 같지만, 전산화단층촬영 시 대상환자가 약물치료 등으로 인하여 정상인의 혈관과 비교할 때 가늘어지거나 굵어지는 현상이 발생할 수 있으며, 치료계획에 적합한 검사범위, 검사 방법 등 다양한 요소들이 진단의 기준과 비교하여 볼 때 많은 차이점을 보여주고 있다.

본 연구에서는 방사선종양학과에서 사용하는 검사방법에 따라 달라지는 조영증강에 대한 CT 값 변화에 따라 정량적 평가를 실시하였고, 대상환자의 조영제 주입요소를 통계 처리하여 얻은 자료를 정리하여 적정량의 조영제로 최적의 방사선치료 계획용 영상을 획득하고, 정확한 치료계획을 수행할 수 있는 최적의 영상증강효과 및 방사선치료계획을 위한 기초 프로토콜을 제시하고자 한다.

대상 및 방법

본원에서 방사선치료를 시행한 폐암환자 20명을 대상으로 하였다. 영상수집은 3차원치료계획용 전산화단층촬영영상장치(Picker 5000, Philips Medical System, Cleveland OH, USA)를 이용하여 획득하였고, 영상증강을 위해 조영제(제네딕스300, 게르베코리아, 한국)와 조영제 자동주입장비(메드라드, 대니무역, 한국)등을 이용하였다. 분석은 조영제 주입 조건별로 각 측정부위(폐정맥, 폐동맥)의 CT 값을 측정하여 정량적 분석을 수행하였으며, 획득한 영상을 시각적으로 평가하여 정성적으로 분석하였다. 또한 환자정보 및 조영증강에 영향을 주는 인자 등을 이용하여 통계프로그램인 SPSS(version 10.0)를 통해 기초 프로토콜을 작성하였다(Fig. 1).

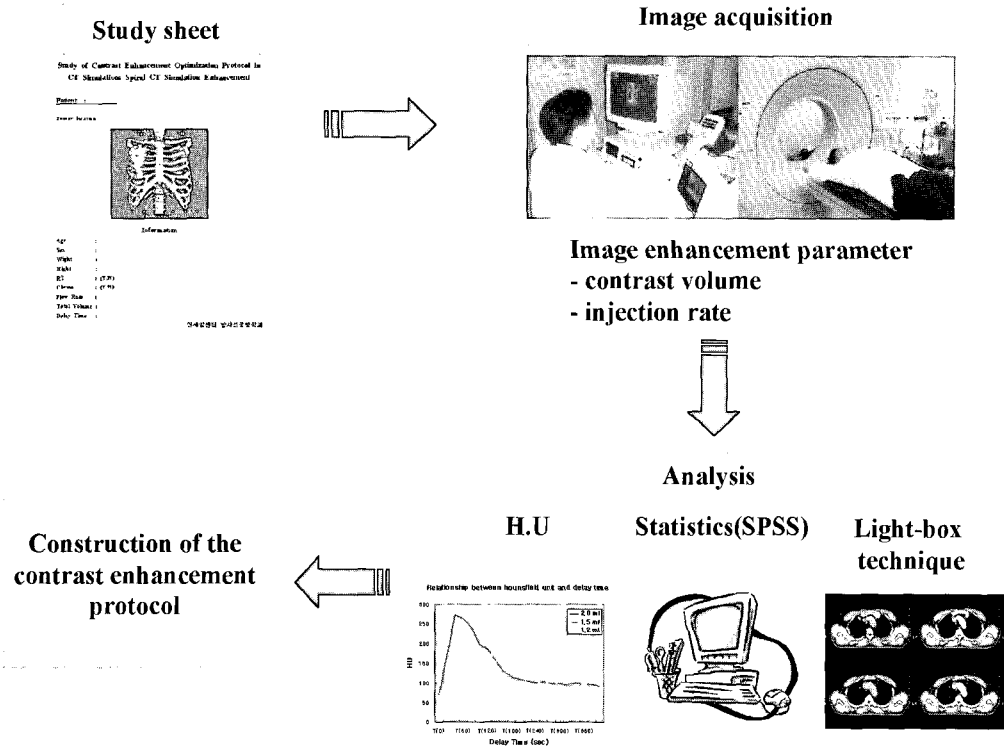


Fig. 1. Schematic diagram of experimental process: construction of contrast enhancement protocol.

1. 임상연구

폐암환자 20명을 대상으로 3차원치료 계획용 전산화단층촬영영상을 획득하였고, 검사부위는 하위경계선은 두 번째 요추부위로, 상위경계선은 쇄골 상부로 하였다. 진단목적으로 획득하는 영상과 달리 치료목적으로 사용하는 영상은 검사 후에 방사선치료계획을 결정하게되므로, 본과에서 원발 부위의 전이 유?무에 따라서 치료부위보다 넓게 검사하는 것을 원칙으로 하였다. 검사 부위가 넓어서 한 촬영검사 계획으로는 불가능하여 두 단계 계획으로 나누어 검사하였다(Fig. 2).

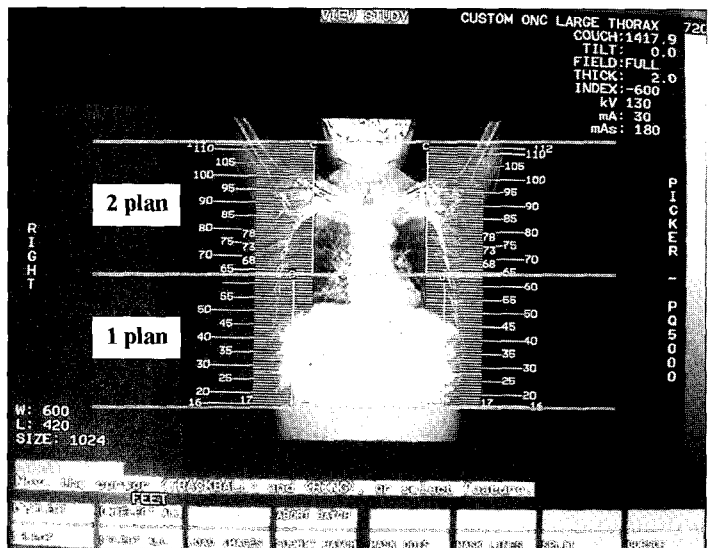


Fig. 2. It shows that CT simulation plan for the radiotherapy treatment planning.

촬영조건은 120 KV, 200 mA로 하였고, 5 mm 두께로 하였다. 영상의 크기는 470 mm로 촬영하였다. 조영증강 영상에 영향을 미치는 환자들 각각의 인자로 성별, 나이, 몸무게, 신장, 방사선 및 함압치료 유?무, 조영제의 속도, 지연시간을 구분하여 검사를 하였다. 조영제의 총 투여량은 130 mL로 정하고, 속도는 1.2 mL/sec, 1.5 mL/sec, 2.0 mL/sec로 구분하였다. 측정부위는 조영제가

주입되는 폐동맥과 폐를 순환하고 심장으로 들어가는 폐정맥을 지정하고, 촬영과 동시에 조영제를 주입하여 시간대별 CT 값을 평가하여 분석하였다. 조영제 주입조건에 맞추어 촬영시간을 7초 간격으로 하여 연속촬영하였다. 각각의 조건별 촬영방법은 동일한 방법으로 검사하였다. 폐암환자의 3차원치료계획용 전산화단층촬영 시 소요되는 시간은 약 75-85 초가 된다(Table 1).

Table 1. Contrast injection protocols used in this study

Contrast Volume (cc)	Amount (mL/kg)	Rate (mL/sec)	Interval Time /Scan Time (sec)
130	2.0	1.2	7/300
130	2.0	1.5	7/300
130	2.0	2.0	7/300

2. 분석방법

분석 1. 조영집적에 따른 CT 값(hounsfield units, HU) 분석

조영제 주입 조건별로 각 측정부위(폐정맥, 폐동맥)의 CT 값을 측정하여 정량적 분석을 수행하였다. 본원의 진단방사선과는 조영제 주입량, 주입율, 지연시간을 본 연구에서 이용한 방법으로 하여 영상판독 전문의의 관독인자에 따라 조영제 주입조건을 결정하고 있다. 타 보고에서도 각각의 연구자들에 의한 시각적인 평가를 이용하여 조영제 주입조건이 결정되는 것으로 알려져 있다.⁹ 3차원치료계획용 전산화단층촬영영상을 획득하여 측정부위의 CT 값을 조건별, 검사부위별로 정리하였다. 측정부위의 CT 값을 시간대별로 정리하여 통계 처리로 얻어진 조영그래프를 분석하였다. 조영그래프를 통해 가장 많이 조영증강된 시간을 알 수 있었으며, 폐를 포함한 상복부가 조영되는 시간을 계산하였다. 최고 조영집적점을 기준으로 조영그래프상의 시간을 상복부 조영시간에 대입하여 조영지연시간을 얻었다. 본 연구에서 측정한 심장부위에서의 CT 값은 조영제가 폐주위에 주입되고있는 시점의 CT 값을 180으로 보았고,

250 이상일 경우 선량계산 시 차이가 발생함으로 검사 적정 부위의 범위를 CT 값 180~250으로 정하였다. 본 연구의 조영그래프를 이용하여 두경부, 폐, 복부, 골반부위에 적합한 조영제주입율과 조영제지연시간을 도출하였다.

분석 2. 통계 처리

환자정보 및 조영증강에 영향을 주는 인자 등을 이용하여 통계프로그램인 SPSS를 통해 기초 프로토콜을 작성하였다. 통계 평가방법으로 대상환자의 영상변화 인자를 항목별로 통계 프로그램에 입력시키고, 관심영역의 CT 값을 제시하고 조영증강 효과와 밀접한 관계가 있는 인자로부터 순위를 정하였다. 조영제의 양, 지연시간, 조영제주입율을 고정시키고 각각의 대상환자의 인자를 대입하여 분석하였다. 각각의 인자들이 조영증강에 어느 정도의 영향을 주는지를 수치화하여 조영제 주입에 대입하였다(Fig. 3).

22 : sex												
	sex	age	weight	height	a_h.u	p_h.u	변수	변수	변수	변수	변수	변수
1	f	61.00	54.00	150.00	272.00	107.00						
2	f	66.00	62.00	155.00	255.00	176.00						
3	f	60.00	53.00	158.00	282.00	200.00						
4	f	62.00	55.00	158.00	229.00	162.00						
5	f	52.00	50.00	160.00	286.00	180.00						
6	m	52.00	77.00	180.00	212.00	136.00						
7	f	63.00	48.00	160.00	263.00	223.00						
8	m	54.00	75.00	168.00	188.00	166.00						
9	f	54.00	67.00	165.00	254.00	200.00						
10	m	48.00	70.00	172.00	170.00	150.00						
11	f	33.00	50.00	152.00	274.00	194.00						
12	m	72.00	41.00	152.00	350.00	250.00						
13	f	52.00	42.00	157.00	290.00	200.00						
14	f	64.00	56.00	155.00	221.00	165.00						
15	m	59.00	80.00	170.00	176.00	140.00						
16	m	70.00	68.00	167.00	196.00	143.00						
17	m	64.00	63.00	170.00	228.00	179.00						
18	f	53.00	67.00	160.00	227.00	174.00						
19	m	53.00	57.00	172.00	248.00	180.00						
20	m	53.00	73.00	163.00	228.00	183.00						
21	m	56.00	77.00	165.00	180.00	137.00						

Fig. 3. SPSS Statistic Package.

분석 3. 시각적 평가

전산화단층촬영 영상으로부터 획득한 영상을 시각적으로 평가하여 정성적으로 분석하였다. 평가는 종양학과 전문의 1명, 의학물리사 1명, 치료방사선사 1명, 진단방사선사 1명 등으로 구성하여 수행하였다.

결 과

1. 조영집적에 따른 CT 값과 지연시간 간의 상관관계 분석

본 연구에서 작성한 조영제주입 프로토콜에 의해 조영제 주입율을 1.2, 1.5, 2.0 mL/sec로 주입한 결과, 조영제 주입 최고점 시간은 각각 70~80초, 60~70초, 30~40초이었다. 조영제 주입율이 증가할수록 조영제 주입시간-CT 값 상관관계 그래프에서 조영제 주입시간은 왼쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있었다. 이후 CT 값이 급격하게 감소하는 현상이 나타나고, optimum temporal window 영역은 조영제 주입율이 증가할수록 작아지는 것을 볼 수 있었다. 적절한 조영증강영상을 얻을 수 있는 CT 값 영역대에서 optimum temporal window 영역이 검사시간과 유사한 경우가 1.5 mL/sec의 조영제 주입율임을

Relationship between hounsfield unit and delay time

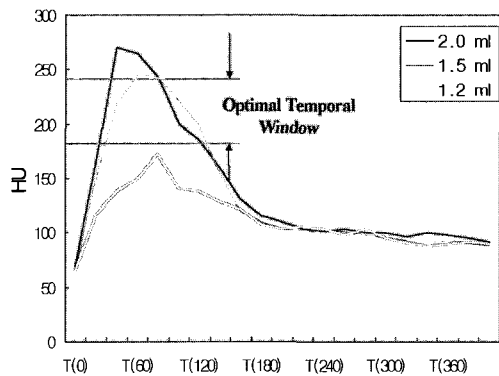


Fig. 4. It shows that relationship between hounsfield unit(HU) and delay time. Time-attenuation curves for the aorta and portal vein show that an increased injection volume leads to increased enhancement, and an increased duration of injection leads to a shifting of Tmax to the right.

2. 통계 처리

환자정보와 영상증강인자 등을 통계 처리하여 영상증강에 영향을 미치는 인자를 알아보았다. 환자정보는 성별, 신장, 체중을 변수로 하였고, 영상 증강인자는 조영제

주입량과 조영제 주입율, 지연시간 등을 변수로 하였다. 주입 후 일정 부위의 HU에 대한 상관 분석을 시행한 결과, 환자정보의 신장과 체중이 각각 pearson 상관계수 -0.87과 -0.69을 나타내어 95% 유의 수준에서 조영 증강 효과에 유의한 상관관계를 보여 주었다. 그러나, 성별, RT 유?무, 항암제 투여 유?무에 따라서 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 환자의 체중과 신장

에 의한 조영 증강효과에 대한 기대값을 설정하기 위한 회귀 분석 결과, HU이 종속 변수일 때 체중과 신장, 두 가지 종속변수에 의한 회귀선은 (1)식으로 추정되며 추정된 회귀선의 R 제곱근 값은 0.76 이며 95% 유의 수준에서 유의함을 알 수 있었다(Table 2).

$$HU = 465.37 - 3.207(\text{weight}) - 0.19(\text{height}) \text{ -----(1)}$$

Table 2. Weight-height based contrast injection parameters in CT simulation

	상관계수	AGE	WEIGHT	HEIGHT	HU
AGE	Pearson 상관계수	1.000	-.045	-.067	.090
	유의확률 (양쪽)	.	.845	.773	.698
	N	21	21	21	21
WEIGHT	Pearson 상관계수	-.045	1.000	.776**	-.865**
	유의확률 (양쪽)	.845	.	.	.000
	N	21	21	21	21
HEIGHT	Pearson 상관계수	-.067	.776**	1.000	-.686**
	유의확률 (양쪽)	.773	.	.	.001
	N	21	21	21	21
HU	Pearson 상관계수	.090	.865**	-.686**	1.000
	유의확률 (양쪽)	.698	.000	.001	.
	N	21	21	21	21

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다

3. 시각적 평가

본 연구에서 제시한 실험조건별로 영상을 획득하여 시각적 평가를 수행하였다. 관찰자는 중앙학전문의 1명, 의학물리사 1명, 치료방사선사 1명, 진단방사선사 1명을 대상으로 하여 관찰자 마다의 주관적 판독소견을 알아보았다. 평가 결과가 본 연구에서 제시한 기초프로토콜을 좌우하는 변수로는 작용하지는 않았지만, 조영제 주입시 작시간과 optimum temporal window 영역이 CT 값에 영향이 있다는 것을 알

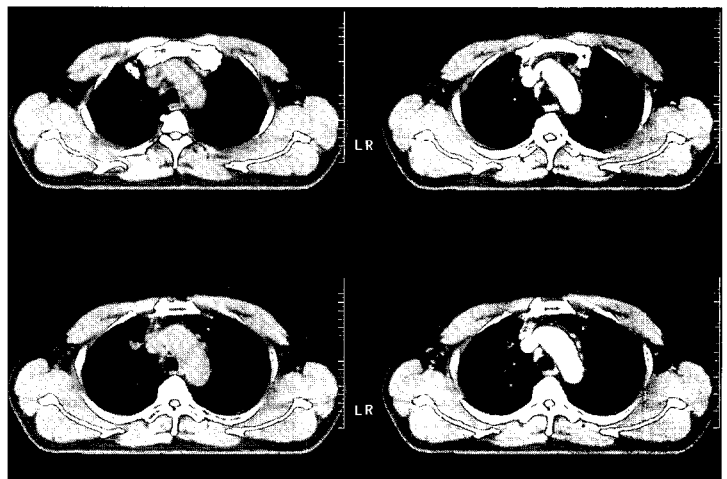


Fig. 5. It show that an changed of image enhancement leads to injection volume.

4. 영상획득 작성지

환자 정보와 영상증강에 영향을 미치는 인자들을 기록하기 위해 환자별로 영상획득지를 작성하였다. 작성지에는 종양 위치와 나이, 성별, 신장, 체중, 조영제주입량, 조영제 주입율, 지연시간 등을 기록하였다(APPENDIX 1., 2).

결론 및 고안

진단영역의 영상을 얻는데 있어서 조영제의 적절한 사용은 중요하다. 진단에서는 정상조직과 종양부위와의 경계를 판독하거나, 종양의 특성을 구분하는데 중요한 인자가 된다. 대부분의 종양에 있어서 조영증강 효과를 가져오지만, 종양의 성질에 따라서 조영증강 없이 나타나는 종양도 많은 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾

3차원치료계획용 전산화단층촬영영상장치를 이용한 방사선 치료계획영상에서도 조영제의 사용은 향후치료 성적을 좌우하는 인자가 되기도 한다. 정확한 종양의 부위를 선택적으로 정확하게 치료하고 인접한 정상조직이나 결정장기를 보호하는 것이 방사선치료의 목적이기 때문이다. 이에 대한 연구는 진단방사선과 영역에서 활발히 이루어지고 있다. 연구들은 특정부위나 질병에 관하여 정확한 진단과 조영제 주입시간과, 주입율, 조영제의 양 등이 혈관을 통한 순환계통과 어떠한 상호관계가 있는지에 대한 연구와 전산화단층촬영 시 적절한 조영조건을 찾는 연구 등이 활발히 진행되고 있다. 그래서 본 연구에서는 치료계획용 전산화단층촬영 시 적합한 조영조건을 얻고자 수행하게 되었다. 진단영역과 달리 치료계획용 전산화단층촬영은 종양부위와 인접한 정상조직에 적당한 조영증강효과와 전이 유?무에 따른 타 장기들의 조영효과도 간과할 수 없기 때문에 본 연구에서처럼 방사선종양학과의 조건에 적합한 조영방법을 찾고자 하였다. 대한방사선치료기술학회지¹¹⁾에 기술된 연구자료에 의하면 부분적이지만 3차원치료계획용 전산화단층촬영 영상에서 지나친 조영증강은

선량계산 시 조영 주입전과 비교하여 2~3.4%의 선량감소가 나타남을 보여주고 있다. 이는 진단과 달리 높은 조영증강의 효과는 치료계획용으로는 적합하지 않다는 것을 보여주고 있다.

본 연구를 통하여 3차원 치료계획용 전산화단층촬영영상 획득 시 조영제 사용에 적합한 기초적인 프로토콜을 도출할 수 있었고, 무엇보다 안전하고 정확한 3차원 방사선치료계획을 수행할 수 있는 조건을 찾을 수 있었다. 전산화단층촬영영상 획득 시 무엇보다 중요한 것은 치료설계가 끝나는 동안 환자의 처음과 동일한 자세를 유지하는 것이다. 본과를 내원한 환자들의 경우 대부분 동일한 자세를 유지하는데 있어서 많은 어려움이 있었다. 가장 많은 영향을 주는 요소는 조영제 주입율로서 주입율이 높아지면 열감이 작용하기 때문에 검사 전 충분한 교육에도 불구하고 움직임이 많았는데 특히, 소아환자나 노령의 환자들에서 큰 움직임을 볼 수 있었다. 모의치료조건 시 15~20분 정도 소요되기 때문에 설계하는 동안 동일한 자세를 취하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 방사선치료계획 시 1~2 mm의 정확성을 요구

한다는 점에서 환자의 자세는 중요한 요소가 된다. 또한, 방사선치료, 항암치료 등으로 쇠약해진 혈관이 터지는 예기치 못한 일들이 많이 발생하였다. 조영증강이 잘된 영상도 중요하지만 본과에서 중요한 점은 정확한 방사선치료계획을 세우는 것이 가장 큰 목표일 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하고자 3차원 방사선치료계획용 전산화단층촬영에 적합한 조영방법으로 조영제 주입율과 조영제 지연시간에 대한 연구를 수행하였고, 대상환자가 가지는 신체정보인자가 서로 다르기 때문에 발생할 수 있는 차이는 통계분석을 통하여 조영증강효과와 밀접한 인자를 선별하여 조영제 주입 시 참고 자료로 사용할 수 있게 하였다. 향후 더 많은 임상경험과 정량적 평가가 수반된다면 임상에 적극 사용할 수 있을 것이라고 사료된다.