

고식적 CT와 나선형 CT 검사시 장기 및 조직의 방사선 흡수선량

삼성서울병원 영상의학과 · 치료방사선과*

김문찬 · 장광현 · 정 환 · 주상규*

I. 머리 말

1972년 최초의 두부 전용 컴퓨터 단층촬영(이하 CT) 장치인 EMI사의 Mark 1이 소개된 이래 지난 20여 년간 CT는 우수한 공간 및 대조도 분해능으로 인한 검사의 정확성과 검사방법의 용이성으로 신경계통을 비롯하여 흉복부의 미세한 질환의 진단과 치료, 수술 계획을 위한 대표적인 디지털 영상 검사로서 유용성이 인정되어 왔다.

CT의 스캔기법은 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 갠트리 외부에 설치되어 있는 변압기와 X선관을 연결하는 고압 케이블의 꼬임을 방지하기 위하여 X선관과 검출기의 회전을 시계 방향과 반시계 방향으로 교대로 회전시키는 고식적(conventional) 스캔이다. 다른 하나는 slip-ring과 brush를 이용한 연속회전 데이터 수집 방식으로서 이는 환자 테이블이 일정 속도로 움직이는 상태에서 X선관과 검출기가 연속적으로 회전함으로써 주사시간을 획기적으로 줄여 주는 나선형(helical 또는 spiral)스캔이며, 이는 1980년대 후반에 개발되어 대부분의 대형 병원에서 사용되고 있다.

나선형 CT의 출현은 고식적 CT에 비해 주사시간의 단축과 호흡이나 움직임에 의한 인공음영(artifact)을 감소시켜 영상의 질을 향상시키고, 연속적인 데이터를 획득함으로써 고식적 CT에서는 간과될 수 있는 촬영단면의 경계부위에 존재하는 작은 병소의 발견을 더욱 가능하게 하였다(Fishman과 Jeffrey, 1995). 그러나 인체의 단면영상을 다방면 또는 3차원의 입체영상으로 재구성하기 위해서 촬

영단면 수가 증가되었으며, 조영제 주입 후 동맥 및 정맥상 그리고 지연상을 획득하기 위해 동일 부위를 2-3회 노출시키는 경우가 많아졌다. 이로 인해 환자가 받는 방사선 노출은 더욱 늘어날 가능성이 지적되고 있다(Wegener, 1994).

인체 장해를 일으킬 수 있는 저선량 방사선의 한계는 1회 노출시 약 100 mSv이며(Modan, 1989), 일반적인 흉부 단순방사선 촬영(chest PA)과 복부 단순 방사선촬영(abdomen AP)의 경우 환자는 약 0.3~1mGy와 1~6mGy 정도의 피폭을 받으며, 위투시 X-선 검사에서는 15mGy 정도의 피폭을 받는 것(한준구 등, 1990)으로 알려져 있다. 예방목적에서 실시되는 뇌 CT 검사가 뇌종양을 유발시키는 원인이 될 수 있다(Cohen, 1983)는 경고도 있지만, CT 검사에 의한 저선량의 의료상 피폭은 현 단계에서 환자에게 큰 영향을 미치지 않는다고 한다(Modan, 1993). 하지만 실제 어느 정도의 양인지, 또 인체에 어떤 장해를 일으킬 수 있는지에 대해서는 추정만 할 뿐 명확한 정량적인 정보나 연구들이 부족한 실정이다.

또한 진단용 발생장치의 피폭선량의 측정과 관리가 일반 방사선 촬영을 중심으로 행하여져 왔고 CT 검사에서의 피폭선량 측정이 타 방사선 검사에 비해 까다로운 이유로 인해 국내에서 거의 이루어지지 못하여 왔다.

단순방사선 촬영에 비해 CT검사는 상대적으로 많은 양의 방사선 피폭이 있으며, 인체 횡단면의 정보 획득이라는 특성으로 인해 인체의 각 부분에 위치하는 장기나 조직의 흡수선량 측정이 중요한

의미를 갖는다. 이런 연유에서 1984년 미국 식품위생국에서는 별도의 CT 피폭선량 지표(CT dose index)를 사용하여 장비 제조회사에서 흡수선량의 정보를 사용자에게 제공할 의무를 신설하였으며 (Food and Drug Administration, 1984), 이에 따라 모든 CT 장치에는 단순한 형태의 균일 재질인 원통형의 두부 팬텀과 전신용 팬텀의 중앙부와 표면부에서 측정된 표준선량이 제공되고 있다.

그러나 이 선량은 인체와는 실효 원자번호와 밀도에서 차이가 있는 아크릴 팬텀에서 특정한 노출 조건과 일률적인 위치에서 측정하여 제시된 값이므로 장치의 사후 검사나 성능 관리를 위한 기준으로 활용이 가능하나, 인체 장기나 조직의 직접적인 피폭선량의 평가에는 제한성을 갖는다.

이에 연구자는 국내에서 많이 사용되는 장치 중의 하나를 선택하여 국내의 공통적인 검사 프로토콜과 기술적 조건을 적용한 CT 검사에서 촬영단면의 종축 방향에서의 산란선 범위와 동일 단면에서 위치의 변화에 따른 선량분포를 확인하고, 대표적인 CT 검사 부위별로 방사선에 예민한 인체 장기 및 조직이 받는 흡수선량을 측정하고, 또한 최근 들어 흉복부와 혈관계통의 CT 검사에 주로 사용되고 있는 나선형 스캔과 전형적으로 사용되는 고식적 스캔의 인체 흡수선량을 비교 평가하기 위해서 본 연구를 시도하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료 및 장비

CT 장치는 고식적 스캔과 나선형 스캔이 가능한 CT Hi-speed Advantage(General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA)를 사용했다.

균일한 물질에서의 위치별 선량분포를 측정하기 위해서는 Radcal사에서 제작된 아크릴 재질의 두부 팬텀(model 20CT6)과 전신용 팬텀(model 20CT14) 그리고 3 cc의 유효체적을 갖는 CT전용 전리조식 선량계(20X5-10.3 CT ionization chamber and 2026 radiation monitor)를 사용했다.

그 외의 모든 측정에서는 Rando 여성팬텀

(model RAN-110, Churchin Associate LTD., USA)과 Harshaw Chemical사에서 제작된 열형광선량계인 thermoluminescent dosimeter(TLD)-100과 TLD Reader(model 5500)를 사용했다.

Rando 여성팬텀은 건조시킨 뼈와 기도, 폐 그리고 조직 등가물질로 이루어져 있으며, 2.5 cm 두께를 가진 35개의 단면으로 구성되어 있고 163 cm의 길이와 54 kg의 체중을 갖는 여성에 해당된다. 각 단면은 5 mm의 직경을 가진 구멍이 15 mm 간격으로 배열되어 열형광 소자의 삽입이 가능하도록 제조되었다. 조직 등가물질의 유효 원자번호는 인체의 유효 원자번호(7.4)와 유사한 7.30 ± 1.25 였으며 질량 밀도는 0.985 ± 1.25 였으며, 폐의 유효 원자번호는 조직과 동일하며 질량 밀도는 0.32 ± 0.1 였다.

TLD-100(LiF:Mg, Ti chip)은 92.5%의 ^7Li 과 7.5%의 ^6Li 으로 구성된 소자의 형태로서 원자번호가 8.2이며, $3.2 \times 3.2 \times 0.9$ mm의 크기를 갖는다. 1 keV 이상의 방사선에서의 측정값은 $10 \mu\text{Gy} - 20 \text{ Gy}$ 범위에서 직선성을 갖는다(Solon Technologies Inc, 1993). 사용된 열형광 소자의 수는 150개였다.

2. 방법

1) Calibration

열형광 소자는 시각적인 구별이 불가능하므로 보관 디스크 위치에 따라 고유번호를 부여하여 취급과 분석 과정의 혼란을 방지하였으며 선형가속 치료기(4 MeV)에 노출시켜 소자 교정(element correction)을 했다.

방사선 촬영장치(model RTE, General Electric Medical Systems, USA)에서 아크릴 팬텀(두께: 20 cm)과 전리조식 선량계(model 20X5-10.3 CT ionization chamber and 2026 radiation monitor, Radcal corporation, Monrovia, USA)를 사용하여 15×15 cm의 조사야에서 주선속 부위에 대한 calibration과 20 cm 떨어진 부위에서 동일한 조사야로 산란선에 대한 calibration을 각각 시행하였다.

X선관의 초점과 선량계의 거리는 100 cm로 설정하였으며 100 kVp에서 200 mAs와 250 mAs의 노출 조건을 사용하였으며 두 조건에서의 상관 관

계(0.997)를 구하여 열형광 선량계의 판독 값을 전리조직 선량계 값으로 교정하였다.

3개의 열형광 소자를 근접되게 위치시켜 측정하여 소자별 특성에 의한 오차를 최소화하였고 전리조직 선량계에 의한 측정을 3회 시행하여 평균 값을 적용하였다.

2) 측정 방법

모든 CT스캔에 49°의 부채꼴 선속과 360°의 X선관 회전방식을 적용하였으며 선속의 여과를 위해서는 2.7mm 두께의 알루미늄 등가물질이 사용되었다. 국내 6개 대형병원에서 사용되는 노출을 기준으로 조건을 설정하였으며 X-선관과 isocenter의 거리는 630 mm를 유지하였다. 횡단면 스캔(axial scan)에 앞서 시행되는 위치잡이 스캔(topographic scan)의 노출 조건은 120 kVp와 80 mA를 균일하게 사용하였다.

장기 및 조직의 흡수선량 측정에 앞서 산란선 및 부위별 선량의 기본적인 특성을 알기 위한 측정을 먼저 시행했으며, 기술적 인자로는 120 kVp와 300 mAs의 노출조건과 10 mm의 단면두께를 공통적으로 적용하였다. 선량계의 삽입 및 측정 방법은 다음과 같이 하였다.

인체 장축 방향에서의 선량분포를 알기 위해서는 인체 모형 팬텀의 두부(3번째 단면) 중앙부에 21개의 열형광 소자를 공백이 생기지 않도록 밀착되게 위치시켰으며, 주변부에는 3 mm와 6 mm의 간격으로 10개를 좌우로 위치시켰다. 그리고 팬텀 중앙부에 single slice 스캔한 후 선량 윤곽 곡선(dose profile)을 그렸다.

균일한 물질에서의 동일 단면내 위치별 선량분포를 알기 위해서는 16 cm와 32 cm의 직경을 갖는 원통형 팬텀의 상하좌우의 표면부와 중앙부에 CT전용 전리조직 선량계를 위치시켜 single slice 스캔하였으며, 흡수선량 단위로 직접 읽었다.

그림 1은 균일한 물질에서의 선량측정을 위해 두부 및 전신용 팬텀에 전리조직 선량계를 삽입한 위치를 나타낸 것이며 구멍은 표면으로부터 1 cm의 깊이에 위치하였다.

인체와 동일한 구조에서의 동일 단면내 위치별 선량분포를 알기 위해서는 인체모형 팬텀의 두부(3

번째 단면)와 복부(20번째 단면)의 상하좌우의 표면부와 중앙부를 포함하여 총 9부위에 열형광 소자를 삽입하여 표면 및 심부의 선량을 측정하였다.

그림 2는 인체모형의 두부 및 복부 팬텀에 열형광 소자를 삽입한 부위를 나타내었다.

Single-slice와 multi-slice 스캔시 동일 단면내 위치별 선량분포의 비교를 위해서는 인체모형 두부 팬텀의 위치 1(전면부), 위치 3(중앙부), 위치 5(후면부)를 선택하여 측정하였다.

Single slice 스캔은 인체모형 두부팬텀의 3번째 단면에서 10mm의 단면두께로 시행하였으며, multi-slice 스캔은 두부 CT에서 사용되는 조건과 동일한 단면두께와 간격으로 18개의 slice를 스캔하였다.

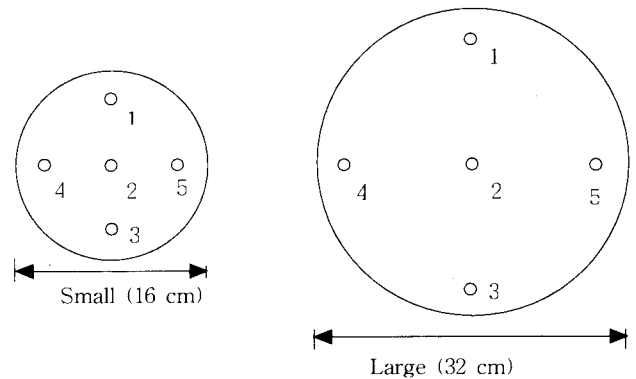


Fig. 1. Cross-sections of acryl phantom (small and large) and location of the ionization chamber.

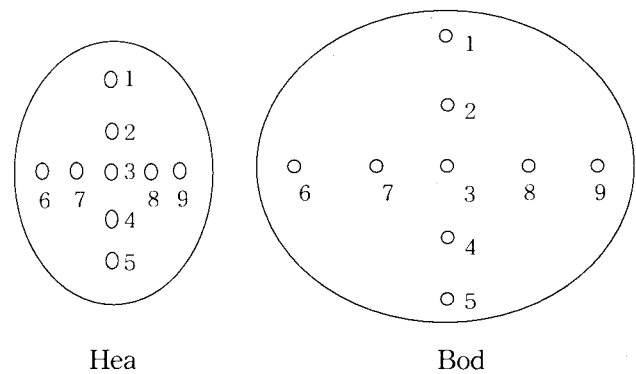


Fig. 2. Cross-section of anthropomorphic random phantom(head and body) and location of thermoluminescent chip insertion.

각 부위별 CT검사시 장기 및 조직의 흡수선량 측정은 다음과 같이 하였다. 두부 CT에서는 120kVp와 300mAs의 노출조건을 사용하였으며, 5mm의 단면두께와 간격으로 두개저 부위의 7개의 slice와, 10mm의 단면두께와 간격으로 두정부까지 11개의 slice를 스캔하였다. 고 해상능의 폐(high resolution lung) CT에서는 10mm의 간격으로 제1흉추 부위부터 횡격막 부위까지 1mm의 얇은 절편 두께로서 31개의 단면을 촬영하였으며 노출 조건은 140kVp와 200mAs를 사용하였다. 흉부 CT는 고 해상능의 폐 CT를 시행 한 후 10 mm의 단면두께와 간격으로 제1흉추 부위부터 하부까지 38개의 단면 촬영을 추가하였다.

상복부 CT는 7mm의 단면두께와 간격으로 간상부에서 장골능까지 32개의 단면 촬영을 시행하였으며, 흉부 및 상복부 CT시의 노출조건은 120kVp와 200mAs를 사용하였다. 하복부(pelvis) CT는 120kVp와 250mAs의 노출조건을 사용하였으며, 10mm의 단면두께와 간격으로 장골능 상부에서 치골 결합부까지 19개의 단면을 촬영하였다.

고 해상능의 폐 CT를 제외한 각 부위에서 고식적 스캔과 나선형 스캔을 동일한 조건으로 시행하였으며, 이를 위해 고식적 스캔에서는 촬영 단면 사이에 공백이 생기지 않도록 단면두께와 간격을 동일하게(contiguous) 하였으며, 나선형 스캔에서는 X-선관이 일 회전하는 동안 촬영 단면두께와 동일하게 환자

테이블이 이동되는 1:1의 pitch를 사용하였다. 두 스캔 기법에서의 장기 및 조직이 받는 흡수선량을 비교하기 위해서는 주선속 부위에 속하는 중요 부위를 3-6개 씩 선정 측정하여 평균하였다. 측정값의 오차를 줄이기 위해 주선속 부위에서는 3회, 산란선 부위에서는 2회의 반복 측정을 시행했으며, 복수 장기(paired organ)의 선량측정은 열형광 소자를 각각 위치시켜 측정한 후 평균값을 얻었다. 표 1은 인체모형 팬텀 내에 열형광 소자를 삽입하여 흡수선량을 측정 한 장기 및 조직의 위치를 나타내었다.

III. 성 적

1. 위치별 선량 분포

1) 인체 장축 방향에서의 선량분포(beam dose profile)

10 mm의 단면두께로서 두부의 single slice 스캔 시 촬영 단면의 중앙부 선량은 13.1 mGy였으며, 중앙부로부터 인체 장축 방향으로 10 mm 떨어진 위치의 선량(인접 slice의 중앙부)은 평균 3.2 mGy였으며, 20 mm 떨어진 위치의 선량은 1.1 mGy였다. 중앙부로부터 약 4~7 mm 위치에서 급격한 선량 감소를 보였으며, 20~30 mm 위치에서는 선량 변화가 거의 없었다(그림 3).

Table 1. Organ and tissue locations used for absorbed dose measurements by thermoluminescent dosimeter.

Organ	Slice No.	Distance from top of head(cm)	Distance from midline(cm)	Depth from ant. surface(cm)
Ant. surface of brain	3	6	0	4
Mid area of brain	3	6	0	10
Post. surface of brain	3	6	0	16
Eyeball	4	9	3.5	0.5
Thyroid	10	23.5	3	2
Lung	16	41	6	8.5
Breast	17	42.5	10	5
Liver	20	51	7.5	7.5
Kidney	22	56	6	8.5
Ant. surface of pelvis	31	78.5	0	1.5
Uterus	31	78.5	0	10.5
Post. surface of pelvis	31	78.5	6	17
Ovary	31	78.5	6	8

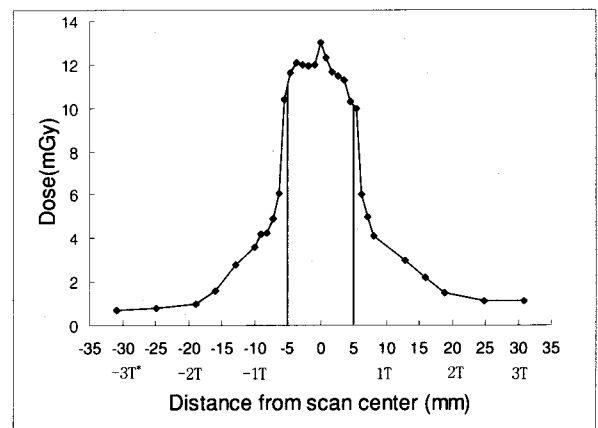


Fig. 3. Dose profile of single slice scan in antropomorphic head phantom.

* T means used slice thickness

Table 2. Absorbed dose of each position in syringical phantom measured by ionization chamber.(unit: mGy)

position	head phantom	body phantom
1**	40.66±0.35	16.92±0.21
2***	37.27±0.56	10.19±0.42*
3****	38.12±0.31	13.70±0.11
4*****	38.63±0.13	15.47±0.29
5*****	39.65±0.39	15.36±0.29
average	39.10±0.65	16.07±0.81

* P <0.05 compared with surface dose
 ** anterior surface
 *** mid area
 **** posterior surface
 ***** lateral surface Mean±SD

Table 3. Absorbed dose of each position in antropomorphic rando phantom measured by thermoluminescent dosimeter. (unit: mGy)

position	head phantom	abdomen phantom
1**	19.03±1.80	20.42±1.90
2	15.15±1.45	13.93±1.38
3***	14.19±1.63	9.73±1.19*
4	13.60±1.12	13.05±0.87
5****	15.56±0.76	15.72±1.60
6*****	18.50±2.10	20.27±1.98
7	13.71±0.86	10.34±0.87
8	15.05±1.81	10.46±1.20
9*****	18.94±1.72	17.56±1.73
average	16.07±2.59	14.61±4.15

* P <0.05 compared with surface dose
 ** anterior surface
 *** mid area
 **** posterior surface
 ***** lateral surface
 Mean±SD

2) 균일한 물질에서의 동일 단면내 위치별 선량 분포

원통형 두부 팬텀의 single slice 스캔시 흡수선량은 37.27 mGy와 40.66 mGy의 범위에 속했으며

Table 4. Comparison of absorbed dose between single slice and multi-slice scan in anthropomorphic head phantom measured by thermoluminescent dosimeter.

position	absorbed dose(mGy)	
	single slice	multi-slice
1*	19.03±1.80	41.75±0.04
3**	14.19±1.63	40.35±1.17
5***	15.56±0.76	37.18±0.80

* anterior surface
 ** mid area
 *** posterior surface
 Mean±SD

평균은 39.10 mGy였다. 원통형의 전신용 팬텀의 선량은 10.19 mGy와 16.92 mGy의 범위에 속했으며 평균은 16.07 mGy였다. 위치별 선량은 두부 팬텀과 전신용 팬텀에서 동일하게 전면부가 가장 많았으며, 측면부, 후면부, 중앙부의 순이었다. 동일 조건하에서의 스캔시 중앙부의 선량 감소율은 전신용 팬텀이 두부 팬텀보다 유의하게(P <0.05) 많았다(표 2).

3) 인체 모형 팬텀에서의 동일 단면내 위치별 선량 분포

인체 모형의 두부 팬텀을 single slice 스캔시 선량은 13.60mGy와 20.74 mGy의 범위에 속했으며 평균은 16.17mGy였다. 전신용 팬텀의 복부를 single slice 스캔한 선량은 9.73mGy와 20.42mGy의 범위에 속했으며 평균은 14.61mGy였다.

위치별 선량분포는 전면부가 가장 많았으며, 측면부, 후면부, 중앙부 순으로서 균일한 재질의 원통형 팬텀과 동일한 양상을 보였다(표 3).

4) Single slice scan과 multi-slice scan시 동일 단면내 위치별 선량 비교

인체 모형의 두부 팬텀에서 시행된 single slice scan과 두부 CT와 동일한 조건으로 시행된 multi-slice scan에서 뇌의 전면부의 선량은 19.03 mGy와 41.75mGy였으며, 중앙부의 선량은 14.19mGy와 40.35mGy, 후면부의 선량은 15.56mGy와 37.18mGy였다. 뇌의 부위별 흡수선량은 multi-slice scan이 single slice scan보다 2.19-2.84배 많았다(표 4).

2. 고식적 및 나선형 CT 검사시 장기 및 조직의 흡수선량

1) 두부 CT

두부 CT의 경우 뇌의 중앙부가 받는 흡수선량은 고식적 스캔에서 40.35mGy, 나선형 스캔에서는 38.89mGy였다. 주선속 부위에 속하는 안구를 포함하여 뇌가 고식적 스캔에서 받는 평균 흡수선량은 40.36mGy, 나선형 스캔에서는 40.14mGy였다. 뇌의 전면부에서 나선형 스캔이 고식적 스캔에 비해 유의하게($P < 0.05$) 많은 선량을 보였으나, 주선속 부위의 전체적인 선량 비교에서는 고식적 스캔과 나선형 스캔 사이에 통계적으로 유의한 차가 없었다.

산란선 부위에 속하는 장기인 갑상선의 흡수선량은 고식적 스캔에서 1.80mGy, 나선형 스캔에서는 1.79mGy였으며, 자궁은 고식적 스캔과 나선형 스캔에서 동일하게 0.21mGy였다(표 5).

2) 흉부 CT

고식적 스캔으로 시행된 고 해상능 폐 CT의 경우 주선속 부위에 속하는 폐와 유방의 흡수선량은 2.88mGy와 3.64mGy였으며, 산란선 부위에 속하는 안구와 자궁의 선량은 0.19mGy와 0.20mGy였다.

흉부 CT의 경우 폐와 유방의 흡수선량은 고식적 스캔에서 22.99mGy와 17.95mGy, 나선형 스캔에서

22.70mGy와 16.59mGy였다. 또한 갑상선의 흡수선량은 고식적 스캔과 나선형 스캔에서 31.80mGy와 31.61mGy로서 폐나 유방보다 많았다. 흉부 CT에서 주선속 부위에 속하는 장기들의 평균 흡수선량은 고식적 스캔에서는 21.63mGy, 나선형 스캔에서는 21.98mGy를 나타냄으로써, 흉부 CT시 주선속 부위에 속하는 장기가 받는 흡수선량은 고식적 스캔과 나선형 스캔 사이에 유의한 차이가 없었다. 그리고 흉부 CT시 산란선 부위에 속하는 안구와 자궁의 선량은 고식적 스캔에서는 0.32mGy와 0.42mGy였으며, 나선형 스캔에서는 0.41mGy와 0.40mGy였다(표 6).

3) 상복부 CT

상복부 CT시 간과 신장의 흡수선량은 고식적 스캔에서 25.88mGy와 23.85mGy, 나선형 스캔에서는 20.98mGy와 22.44mGy였다. 주선속 부위에 속하는 장기인 간과 신장이 받는 평균 흡수선량은 나선형 스캔이 22.26mGy로서 24.86mGy인 고식적 스캔보다 유의하게($P < 0.05$) 적었다. 산란선 부위에 속하는 갑상선과 자궁의 흡수선량은 고식적 스캔에서 0.38mGy와 1.07mGy, 나선형 스캔에서는 0.40mGy와 1.04mGy였다(표 7).

4) 하복부 CT

하복부 CT 검사에서 자궁과 난소의 흡수선량은 고식적 스캔에서 20.61mGy와 16.73mGy, 나선형

Table 5. Absorbed dose of each organ and tissue in conventional and helical brain CT. (unit: mGy)

region	conventional	helical
Anterior surface of brain	41.75±0.04	45.15±0.98*
Mid area of brain	40.35±1.17	38.89±4.75
Posterior surface of brain	37.18±0.80	35.34±1.87
Eyeball	41.67±3.47	40.85±4.42
Average	40.36±2.61	40.14±4.57
Thyroid	1.80±0.02	1.79±0.08
Breast	0.41±0.09	0.46±0.06
Liver	0.24±0.02	0.25±0.04
Uterus	0.21±0.03	0.21±0.04

* $P < 0.05$ compared with conventional scan dose
Mean±SD

Table 6. Absorbed dose of each organ in conventional and helical CT in chest. (unit: mGy)

region	high resolution lung CT*	chest CT	
		conventional	helical
Thyroid	3.85±0.81	31.80±1.60	31.61±0.84
Lung	2.88±0.10	22.99±2.01	22.70±2.36
Breast	3.64±0.32	17.95±1.64	16.59±3.35
Liver	3.06±0.05	25.88±1.40	28.31±2.14
Average		21.63±6.48	21.98±6.85
Eyeball	0.19±0.02	0.32±0.03	0.41±0.09
Uterus	0.20±0.02	0.42±0.02	0.40±0.07
Ovary	0.15±0.03	0.42±0.02	0.41±0.04

* Only conventional scan was done due to thin slice thickness technique.

Mean±SD

Table 7. Absorbed dose of each organ in conventional and helical abdominal CT. (unit: mGy)

region	conventional	helical
Liver	25.88±2.29	20.98±0.44
Kidney	23.85±1.78	22.44±0.80
Average	24.86±3.59	22.26±1.33*
Eyeball	0.20±0.01	0.23±0.01
Thyroid	0.38±0.04	0.40±0.01
Breast	3.08±0.21	3.09±0.41
Uterus	1.07±0.31	1.04±0.52
Ovary	0.84±0.01	0.82±0.04

* P <0.05 compared with conventional scan dose.
Mean±SD

Table 8. Absorbed dose of each organ and tissue in conventional and helical pelvic CT. (unit: mGy)

region	conventional	helical
Anterior surface of pelvis	35.98±2.82	35.25±3.23
Uterus	20.61±1.15	20.25±0.39
Posterior surface of pelvis	19.41±2.26	19.02±2.53
Ovary	16.73±1.61	16.60±2.01
Average	21.89±7.66	21.54±7.51
Eyeball	0.17±0.02	0.19±0.04
Thyroid	0.17±0.01	0.20±0.03
Breast	0.33±0.02	0.35±0.03
Liver	0.62±0.01	0.66±0.05

Mean±SD

스캔에서는 20.25mGy와 16.60mGy였다. 그리고 하복부의 전면부 선량은 고식적 스캔과 나선형 스캔에서 거의 동일하게 중앙부(자궁)와 후면부에 비해 약 1.5배 많았다. 주선속 부위에 속하는 부위인 난소를 포함하여 자궁과 자궁의 전, 후면이 받는 평균 흡수선량은 고식적 스캔에서 21.89mGy, 나선형 스캔에서 21.34mGy를 나타냄으로써 하복부 CT 검사시 장기 및 조직이 받는 흡수선량은 고식적 스캔과 나선형 스캔 사이에 유의한 차이가 없었다. 산란선 부위에 속하는 갑상선과 유방의 흡수선량은 고식적 스캔에서 0.17mGy와 0.33mGy, 나선형 스캔에서 0.20mGy와 0.35mGy였다(표 8).

IV. 고찰

CT 검사에 있어 피폭선량이란 검사시 X-선이 조사된 인체 조직의 국소영역내 아주 작은 용적에서 단위 질량 당 흡수된 에너지를 말한다. 이 선량은 주선속 뿐만 아니라 인체 구조의 투과시 발생되는 산란선, X-선관 용기로부터 누설되는 이차방사선에 의해 조직내 단층 촬영되는 단면과 직각 방향 뿐만 아니라 동일 단면내의 위치에 따라 차이가 생긴다(McCullough와 Payne, 1978).

국내 CT 검사 환경하에서 정교한 인체 모형 팬텀과 최신의 열형광 선량계를 사용하여 흡수선량을 측정 한 본 연구에서의 주선속 부위에 속하는 장기와 조직이 받는 선량은 고 해상능 폐 CT의 2.88mGy에서 두부 CT의 45.15mGy 범위에 속하였으며, 두부 CT에서 가장 많았고 상복부 CT, 흉부 CT의 순이었다. 하복부 CT 선량은 흉부 CT와 유의한 차이가 없었다. 산란선에 의해 장기와 조직이 받는 선량은 0.15mGy에서 3.09mGy의 범위에 속하였다. 검사 부위별로는, 두부 CT에서 안구를 포함하는 뇌가 받는 선량의 범위는 35.34~45.15mGy, 흉부 CT에서의 폐와 유방은 22.70~22.99mGy와 16.59~17.95mGy였다. 그리고 상복부 CT에서 간과 신장이 받는 선량은 20.98~25.88 mGy와 22.44~23.85 mGy, 하복부 CT에서의 자궁과 난소의 선량은 20.25~20.61 mGy와 16.60~16.73 mGy였다.

주선속 부위의 경우 두부 CT의 선량은 흉부나 복부의 선량보다 약 1.5~2.5배 많았는데 이는 두부 CT 검사시 골구조로 둘러싸인 뇌의 해부학적 특징에 기인하여 흉복부에 비해 상대적으로 많은 노출을 사용하였으며 두개저 부위에서 선속 경화에 의한 인공음영의 발생을 줄이기 위해 얇은 단면두께를 사용하였기 때문으로 추정된다.

1980년대 후반에 국외에서 측정된 고식적 CT 검사시 장기의 흡수선량을 살펴보면, 26개국에 분포되어 있는 250대의 CT 장치를 대상으로 한 두부 CT시의 흡수선량 측정에서는 뇌의 중앙부가 받는 선량은 22~68mGy였다(McCrohan, 1987). 또한 Panger 등에 의해 시행된 측정에 의하면, 두부 CT에서 뇌와 안구의 선량은 22~32mGy와 32~38mGy, 흉부 CT에서 폐와 유방의 선량은 19~26mGy와 24~27mGy

였다. 그리고 상복부 CT에서 간은 20~27mGy, 하복부 CT에서 자궁은 16~22mGy였다(Panger 등, 1989).

사용된 장치와 방법 그리고 측정 부위에서 다소의 차이는 있었지만, 국내에서 주로 사용되는 조건에서 측정된 본 연구의 선량은 선행된 연구들에 비해 두부 CT의 선량은 증가된 추세를 보였으나 다른 모든 부위에서는 대체로 비슷한 수치와 양상을 보였다. 그러나 몇 가지 기술적 요인에서 변화가 관찰되었다. 즉, 검출 장치의 효율 향상으로 인해 두부 CT에서는 약 10%, 그 외 부위의 CT들에서 노출조건이 20~40% 감소되었으나, 해상능을 향상시키기 위해 상대적으로 얇은 단면두께를 사용하고 있으며, 폭 넓은 영상정보를 얻기 위해 스캔 범위를 넓게 하여 각 검사의 총 단면 수가 증가되었기 때문에 전반적으로 피폭선량은 크게 차이가 나지 않은 것으로 판단된다.

나선형 CT의 선량은 동일한 촬영 범위와 기하학적 요인을 적용한 연속 스캔에서는 고식적 CT의 선량과 차이가 없다(Soucek 등, 1990; Kalender와 Polacin, 1991; General Electric Medical Systems, 1994)는 주장과 5 mm와 10 mm의 단면 두께를 사용한 24초 동안의 나선형 CT의 선량이 고식적 CT보다 1.11~1.31배의 많은 피폭을 발생시켰다(Rothenberg와 Pentlow, 1992)는 주장이 상반되고 있었다.

본 연구에서 시행한 나선형 CT와 고식적 CT의 시행시 주선회속 부위에 속한 장기 및 조직이 받는 평균 흡수선량의 비교는 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 그러나 국내 대부분의 병원에서 사용되는 나선형 스캔의 적용에 대해 살펴보면, 흉부 CT에서는 고식적 스캔에서 주로 사용되는 10mm 보다 얇은 7mm의 촬영 단면두께를 사용하고 있으며, 복부에서는 일반(routine) CT를 제외한 대부분의 간이나 췌장 등의 CT에서 동일 부위를 2~3회 스캔하는 multi-phase scan을 채택하고 있다. 이로 인해 나선형 스캔을 적용하는 흉부 CT에서는 본 연구에서 측정된 선량보다 많은 양의 피폭이 발생될 수 있으며, 간이나 췌장 등의 나선형 CT에서는 측정된 선량의 2~3배의 피폭이 발생될 수 있는 점을 간과해서는 안된다. 그러나 실제 나선형 스캔을 시행하는 과정에서 X선관의 열 방출 능력을 초

과하는 많은 수의 환자 검사가 이루어지므로 X선관의 보호를 위해 강제적인 노출 감소가 이루어지는 경우가 많으며, 주사 시간의 단축으로 인해 고식적 스캔에서는 불가능했던 높은 대조도의 혈관 영상을 나선형 스캔에서는 낮은 노출로서 영상화가 가능하므로 간접적인 피폭 감소효과를 얻는다. 또한 나선형 스캔에서는 연속적인 데이터를 얻음으로써, 고식적 스캔에서 종종 사용되던 중복 스캔의 필요가 없어지므로 촬영 단면 수가 감소되는 효과가 있다. 이러한 여러 측면에서 나선형 스캔의 적용은 고식적 스캔과는 달리 환자의 방사선 피폭의 증가와 감소 요인이 공존되는 점이 인지되어야 한다.

일반적으로 진단용 X선 발생 장치에서 나오는 저선량 방사선은 인체에 그다지 많은 해가 없으며 의학적으로 얻어지는 정보의 가치에 비교하면 무시될 수 있다고 학자들은 지적하며, 국제 방사선 방어 위원회(International Commission on Radiological Protection)에서도 직업상 피폭에 의한 선량의 허용기준은 설정되어 있지만 의료상 피폭에 대한 선량의 한도는 허용기준의 적용 대상에서 제외되어 있다. 하지만 진단용 X선에 의해 일어날 수 있는 잠재적인 장해로는 유전자 돌연변이, 태아의 기형이나 악성 질환을 발생시킬 수 있는 유전적 효과와 만성 빈혈, 발암, 백혈병 등 개체효과의 발생 위험이 증가되는 것은 부인될 수 없다. 의료의 목적성과 방사선 피폭으로 인한 결과가 환자에게 이익으로 되돌아 온다는 이유로 의료상 피폭은 일반적인 피폭과 구분되지만, 폐나 유방에 조사된 10mGy의 X선은 폐암이나 유방암으로 사망할 확률을 1,000,000분의 20~25를 추가시킨다(Mole, 1979)는 점은 깊이 고려되어야 한다. 즉, 진료의 필요성에 의해서 시행되는 CT 검사일 지라도 불필요한 피폭은 최대한 억제되어야 하며, 얻어지는 영상 정보와 피폭간의 이익 분석이 선행되어야 한다(유병규, 1995).

CT 검사에서 환자가 받는 피폭은 부채꼴 선속의 각도, X선관의 회전 각도, 선속 여과의 정도 등의 장치에 관련된 요소와 촬영 단면의 두께, kVp와 mAs, 주사시간 등의 기술적 요소에 의해 좌우된다. 미소 초점 X선과 이상적인 collimation을 통해 반음영을 감소시킴으로써 영상의 질 향상과 더

불어 산란선에 의한 피폭을 줄일 수 있으며, 적절한 여과로서 X선속을 경화시켜 환자의 표면 선량의 감소가 가능하다(Bushong, 1984). 일반적인 CT 검사에서 환자가 받는 피폭을 가능한 적게 해야 하지만 영상의 질과 비례하여 노출조건이 증가하기 때문에 영상 진단의 가치와 피폭에 의한 장애 등의 판단에 따라 노출조건이 결정되어야 하며, 사용자는 기술적 요인의 최적 사용을 통해 피폭을 감소시켜야 한다. 이를 위해서는 필요 이상의 촬영 단면 수를 줄이고 짧은 스캔시간을 사용하여 움직임이나 호흡에 의한 인공음영의 발생을 억제하여 반복 노출을 피해야 하며, 방어기구의 효율적 사용으로 2차 X선에 의한 피폭도 줄여야 한다. 또한 의학적으로 얻어지는 영상정보와 비교하여 피폭이 정당화 될 수 있도록 여러 가지 기술적 인자들의 사용에 심사숙고하며, 질병을 찾아내는 진단적 가치를 저해하지 않는 범위에서 피폭선량을 줄일 수 있는 연구와 노력을 계속해야 한다.

본 연구의 결과로 나타난 CT 검사시 장기 및 조직이 받는 최대 45.15mGy의 흡수선량은 인체에 뚜렷한 장애를 유발시킬 수 있는 저선량 방사선의 한계에 미치지 않는 않지만, 본 연구에서 측정된 선량보다 약 2~3배 많은 양의 피폭이 있을 수 있는 조영증강 전후(pre- and post-contrast) CT나 multi-phase의 영상을 얻는 나선형 CT를 시행 할 경우, 단 시일 내에 시행되는 반복 및 집중검사의 경우나 만성적인 노출에 의한 피폭의 축적은 깊은 검토가 필요하다.

더불어 본 연구는 X선관과 검출기를 360° 회전시켜 데이터를 얻는 스캔 기법(normal scan)에 한정하였으나 partial scan과 over scan에서의 선량 평가와 나선형 스캔시 pitch 변화에 따른 선량 변화에 관한 추가적인 실험연구도 필요하리라 생각한다.

V. 맺 음 말

인체 등가물질로 구성된 Rando 여성 팬텀과 열형광 선량계를 사용하여 고식적 스캔과 나선형 스캔을 이용한 CT 검사시, 방사선에 예민한 인체 장기 및 조직이 받는 흡수선량을 주선속 부위와 산

란선 부위로 구분하여 평가하고 두 스캔 방법 사이의 흡수선량을 비교하기 위해 시행한 연구결과는 다음과 같았다.

1. 10mm의 단면두께로서 두부의 single slice 스캔 시 촬영 단면의 중앙부 흡수선량은 13.1mGy였으며, 중앙에서 장축 방향으로 10mm 떨어진 위치에서의 선량 평균은 3.2mGy, 20mm 떨어진 위치에서의 선량 평균은 1.1mGy였다.
2. 균일 물질의 원통형 팬텀과 인체 모형 팬텀에서 single slice 스캔한 경우 동일 단면내 위치별 흡수선량은 두부와 전신용 팬텀에서 동일하게 전면부가 가장 많았으며, 측면부, 후면부, 중심부 순이었다. 중앙부의 선량 감소율은 전신용 팬텀이두부 팬텀보다 유의하게 많았다.
3. 인체 모형의 두부 팬텀에서 시행된 single slice 스캔과 두부 CT와 동일한 조건으로 시행된 multi-slice 스캔에서 뇌의 부위별 흡수선량은 multi-slice 스캔이 single slice 스캔보다 2.19~2.84배 많았다.
4. 두부 CT의 경우 뇌의 중앙부가 받는 흡수선량은 고식적 스캔에서 40.35mGy, 나선형 스캔에서 38.89mGy였다. 뇌의 전면부 선량은 나선형 스캔이 고식적 스캔보다 유의하게 많았으나, 주선속 부위의 전체적인 선량은 고식적 스캔과 나선형 스캔 사이에 통계적으로 유의한 차가 없었다.
5. 고식적 스캔으로 시행된 고해상능 폐 CT의 경우 폐와 유방의 흡수선량은 2.88mGy와 3.64mGy였다. 흉부 CT의 경우 폐와 유방의 흡수선량은 고식적 스캔에서 22.99mGy와 17.95mGy, 나선형 스캔에서 22.70mGy와 16.59mGy였다.
6. 상복부 CT의 경우 간과 신장의 흡수선량은 고식적 스캔에서 24.08mGy와 23.85mGy, 나선형 스캔에서는 20.98mGy와 22.44mGy였다. 주선속 부위에 속하는 장기인 간과 신장이 받는 평균 선량은 나선형 스캔이 고식적 스캔보다 유의하게 적었다.
7. 하복부 CT의 경우 자궁과 난소의 흡수선량은 고식적 스캔에서 20.61mGy와 16.73mGy, 나선형 스캔에서 20.25mGy와 16.60mGy였다.

참 고 문 헌

1. 유병규: 진단용 방사선 발생장치의 의료상 피폭이 의료환경에 미치는 영향. 석사학위 논문, 한양대학교 환경과학대학원 1995
2. 한준구, 박재형, 강위생: 진단방사선과 촬영에서의 방사선 피폭. 대한방사선의학회지 1990; 26(2): 422-425
3. Bushong SC. Radiologic science for technologists: physics biology and protection, 3rd edition. New York: The C.V. Mosby company, 1984: 378-386
4. Cohen BL. Before it's too late; The cancer risk from low dose radiation. New York: Plenum publishing corporation, 1983: 33
5. Fishman EK, Jeffrey RB. Spiral CT principle, techniques, and clinical application. New York: Raven press, 1995: 1-15
6. Food and Drug Administration. Diagnostic x-ray systems and their major components; Amendments to performance standard: final rule with 21 CFR part 1020. Federal register 1984; 49: 34, 698-714
7. General Electric medical systems. CT-Hispeed advantage technical reference 3:71-79, Milwaukee, 1994
8. Kalender WA, Polacin A. Physical performance characteristics of spiral CT scanning. Med Phys 1991; 18: 910-915
9. McCrohan MS, Patterson JF, Gagne RM, Goldstein HA. Average radiation dose in a standard head examination for 250 CT system. Am J Radiol 1987; 163: 263-268
10. McCullough EC, Payne JT. Patient dosage in computed tomography. Radiology 1978; 129: 457-463
11. Modan B. Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation. Lancet 1989; 1: 629-631
12. Modan B. Low dose radiation carcinogenesis-issues and interpretation. Health phys 1993; 65(5): 475-478
13. Mole RH. Radiation effects on pro-natal development and their radiological significance. BJR 1979; 52: 89-101
14. Panger W, Scheurer C, Zankl M. Dose to patients in computed tomographic examinations: results and consequences from a field study in the Federal Republic of Germany. BIR report NO. 20. London: British Institute of Radiology, 1989
15. Rothenberg LN, Pentlow KS. Radiation dose in CT. Radiographics 1992; 12: 1225-1243
16. Solon Technologies Inc. Manual of model 5500 automatic TLD reader. Ohio: Publication NO. 5500-0-U-0793-003, 1993
17. Soucek M, Vock P, Daepf M, Kalender W. Spiral CT: a new volume scanning technique. Rontgen-praxis 1990; 3: 3-10
18. Wegener O II. Whole body computed tomography, second edition. Blackwell scientific publications 1994; 3-9: 565-580