
20) 나선형 CT검사시 pitch 변화에 따른 방사선 피폭선량의 비교

삼성서울병원 영상의학과, *치료방사선과, **서울보건대학 방사선과
김문찬, 주상규*, 양한준**

Comparison of Radiation Dose with Change of Pitch in Helical CT Scanning

With the recent prevalence of helical CT scan, multi-phase scanning of the abdomen has become a common practice. But the potential for high radiation levels hesitate using of multi-phase helical scan in spite of acquiring more diagnostic information.

To reduce patient radiation dose within the limit of preserving image quality and cover a large area of interest with a single breath hold, application of high pitch helical scan technique has been an increasing concerns.

This study was conducted to evaluate tissue doses with change of pitch in abdominal helical CT examination under popular technical factors by using anthropomorphic phantom and thermoluminescent dosimetry system.

The results obtained were as follows:

1. The absorbed dose of abdominal tissue containing liver was 25.77 mGy in contiguous abdominal helical CT examination with technical factors of 120 kVp, 200 mAs and 7 mm slice thickness.
2. In abdominal helical CT scanning with 1.2 pitch factor, average abdominal tissue dose including liver was decreased to 82.1% compared to 1.0 pitch scan.

At scan with 1.5 pitch factor, dose was decreased to 72.2% compared to 1.0 pitch scan, and 56.8% at 1.8 pitch scan, 49.5% at 2.0 pitch scan, 42.0% at 2.5 pitch scan, and 37.3% at 3.0 pitch scan.

As a conclusion, reduction of patient radiation dose is necessary within the range of preserving optimum clinical information by using low technical factors and high pitch in helical CT.

Key words : helical scan, pitch, radiation absorbed dose, thermoluminescent dosimeter anthropomorphic phantom

목 적 : Slip-ring과 brush를 이용하여 동력과 데이터의 전달을 행하는 방식의 나선식 CT는 1980년대 말에 개발된 이후 지속적인 소프트웨어의 향상과 스캔 속도 단축으로 고식적 CT를 대체하고 있으며, 국내에도 약 40여대가 도입되어 흉복부와 혈관계통을 비롯한 모든 부위의 검사에 적용되고 있다. 나선형 CT의 적용은 고식적 CT에 비해 스캔 속도가 빨라져 검사 시간의 단축과 호흡이나 움직임에 의한 인공음영(artifact)을 감소시켜 영상의 질을 향상시키고 연속적인 데이터를 얻음으로써, 고식적 CT에서는 간과될 수 있는 촬영단면의 경계부에 위치하는 작은 병소의 발견을 더욱 가능하게 하였다(Fishman과 Jeffrey, 1995). 또한 일회의 조영제를 정맥 주입한 후 동일 부위의 동맥 및 정맥상 그리고 지연상의 획득을 가능케 하여 CT의 진단 능력을 한 차원 높였다. 그러나 일정한 호흡 정지시간 동안 흉복부 등 상대적으로 넓은 부위의 스캔을 위해서는, tube가 회전 하는 동안 환자 테이블이 움직이는 거리를 나타내는 pitch를 증가시키는 방법이 일반적으로 행해지고 있다.

나선형 CT검사시 pitch를 증가시키면 호흡이나 움직임에 의한 인공음영의 발생을 줄일 수 있으나 각 단면 영상의 재구성시 위치 보정에 따른 영상의 질적 저하가 발생된다. 반면에 동일 시간내 스캔 가능한 영역은 증가하며 환자가 받는 피폭선량은 감소되리라 추정된다. 이에 연구자들은 혈관계통의 질환검사나 복부 및 흉부 검사에서 일반화되어 이용되는 나선식 CT 스캔기법에서 pitch 변화에 따라 환자가 받는 방사선 피폭선량을 비교평가 하고자 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

모든 스캔에서 CT Hi-speed Advantage(General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA)를 사용했으며, calibration을 위해서는 아크릴 팬텀과 3 cc의 유효체적을 갖는 CT전용 전리조식 선량계(20X5-10.3 CT ionization chamber and 2026 radiation monitor, Radcal corporation, Monrovia, USA)를 사용했다.

흡수선량 측정에는 Rando 팬텀(Model RAN-110, Churchin Associate LTD., USA)과 Harshaw Chemical사의 열형광 선량계인 thermoluminescent dosimeter (TLD)-100과 TLD Reader(Model 5500)를 사용했다.

인체를 대신해 사용된 Rando 팬텀은 건조시킨 뼈와

기도, 폐 그리고 조직 등가물질의 4가지 성분으로 이루어져 있는 인체 동일 구조이다. 2.5 cm 두께를 가진 35개의 단면으로 구성되어 있고 163 cm의 길이와 54 kg의 체중을 갖는다. 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 , 질량 밀도는 0.985 ± 1.25 , 폐의 유효 원자번호는 조직과 동일하며 질량 밀도는 0.32 ± 0.1 였다. 또한 이 연구에서 사용된 측정 소자인 TLD-100 (LiF:Mg, Ti chip)은 92.5%의 7Li과 7.5%의 6Li으로 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). 측정에 사용된 열형광 소자의 수는 42개였다.

General Electric Medical Systems의 Hi-speed Advantage CT 장치와 Churchin Associate LTD.에서 제작된 인체모형의 Rando 팬텀(Model RAN-110)을 이용하였으며, 선량측정계는 Harshaw Chemical사의 열형광 선량계인 thermoluminescent dosimeter(TLD)-100과 TLD Reader(Model 5500)를 사용했다. 조직의 흡수선량 측정을 위해서는 pitch를 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0, 2.5, 3.0의 7개의 factor로 변화시키고 인체모형 팬텀의 복부(liver)에 해당되는 20번째 단면)의 좌우와 중앙부의 3곳에 열형광 소자를 삽입하여 나선형 스캔을 시행하였다. 스캔 후 섭씨 200°에서 2시간 동안의 annealing을 한 후 Bicon industrial ceramic사의 소프트웨어를 사용하여 판독하였다.

방 법

1) TLD 소자 교정

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

2) Calibration

일반 방사선 촬영장치(Model RTE, General Electric Medical Systems, USA)에서 20 cm두께의 아크릴 팬텀과 CT전용 전리조식 선량계를 사용하여 15×15 cm의 조사야에서 calibration을 시행하였다.

Table 1. Locations used for absorbed dose measurements by thermoluminescent dosimeter.

Locations	Slice No.	Distance from top of head(cm)	Distance from midline(cm)	Depth from ant. surface(cm)
Right lobe of liver	20	51	7.5	7.5
Mid area of abdomen	20	51	0	7.5
Left lobe of liver	20	51	7.5	7.5

X-선관의 초점과 선량계의 거리는 100 cm로 설정하였으며 120 kVp와 200 mAs의 노출 조건을 사용하였으며 열형광 선량계의 판독 값을 전리조식 선량계 값으로 교정하였다.

3개의 열형광 소자를 근접되게 위치시켜 측정하여 소자별 특성에 의한 오차를 최소화하였고 전리조식 선량계에 의한 측정을 3회 반복 시행하여 평균값을 적용하였다.

3) 스캔 및 측정

모든 횡단면 스캔에서 49°의 부채꼴 선속과 360°의 X-선관 회전방식을 적용하였으며, 선속의 여과를 위해서는 2.7 mm 두께의 알루미늄 등가물질이 사용되었다. 또한 X-선관과 isocenter의 거리는 630 mm로 유지하였다.

횡단면 스캔(axial scan)에 앞서 시행되는 위치잡이 스캔(topographic scan)을 위한 노출 조건은 120 kVp와 80 mA로서 균일하게 적용하였다. 횡단면 스캔에서 조직의 흡수선량 측정을 위해서는 pitch를 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0, 2.5, 3.0의 7개의 factor로 변화시키고 인체모형 팬텀의 복부(liver에 해당되는 20번째 단면)의 좌우와 중앙부의 3곳에 열형광 소자를 삽입하여 나선형 스캔을 시행하였다. 임상에서 상복부 CT 검사시 주로 사용되고 있는 120 kVp와 200 mAs의 노출조건을 사용하였으며, 7 mm의 단면두께로 liver 부위가 충분히 포함되게 26개의 단면을 촬영하였다. 스캔시 다른 조건은 모두 동일하게 적용시켰으며, 측정값의 오차를 줄이기 위해 각 factor 별 2회의 반복 측정을 시행했다. 표1은 인체모형 팬텀내에 TLD를 삽입하여 흡수선량을 측정한 부위의 위치를 나타내었다.

4) 분석

측정의 정확도를 기하기 위해 오븐에서 섭씨 200° - 800°의 온도로 8시간의 가열을 통해 열형광 소자를 영점화(zeroing)시킨 후 인체 모형 팬텀에 열형광 소자를 삽입하여 CT스캔을 하였으며, 스캔 후 섭씨 200°에서 2시간 동안의 annealing을 행하였다. Bicron industrial ceramic사의 소프트웨어를 사용하여 mGy 단위로 직접 판독하였으며 최종적인 흡수선량은 TLD value에서 TLD background를 뺀 후 calibration factor를 곱하여 구하였다.

결과 : 조직이 받는 선량의 측정에 앞서 아크릴 팬텀과 CT전용 전리조식 선량계를 사용하여 얻은 calibration factor는 0.98이었으며, TLD의 background 값은 0.13 mGy였다.

인체 모형 팬텀을 사용하여 120 kVp와 200 mA의 노출조건과 7 mm의 단면두께로서 시행된 상복부 나선형 CT 검사시 조직이 받는 흡수선량은 다음과 같았다.

1.0 pitch를 사용한 경우 팬텀의 중앙부 선량은 26.02 mGy였으며, 간 좌엽과 우엽, 중앙부의 평균 선량은 25.77 mGy였다. 1.2 pitch의 경우 중앙부 선량은 20.37mGy, 간 좌엽과 우엽, 중앙부의 평균 선량은 21.16 mGy였으며, 1.5 pitch의 경우에는 18.63 mGy와 18.60 mGy였으며, 1.8 pitch의 경우에는 15.66 mGy와 14.65 mGy였다.

그리고 2.0 pitch의 경우 중앙부 선량은 13.05 mGy, 간 좌엽과 우엽, 중앙부의 평균선량은 12.76 mGy였으며, 2.5 pitch의 경우에는 10.57 mGy와 10.83 mGy였으며, 3.0 pitch의 경우에는 10.14 mGy와 9.60 mGy였다 (표2).

Table 2. Radiation absorbed dose of each position measured by thermoluminescent dosimeter.

pitch area	Rt. lobe of liver	mid area	Lt. lobe of liver	Average
1.0	24.34	26.02	26.96	25.77
1.2	22.89	20.37	20.22	21.16
1.5	18.72	18.63	18.45	18.60
1.8	15.10	15.66	13.19	14.65
2.0	12.79	13.05	12.45	12.76
2.5	12.03	10.57	9.90	10.83
3.0	10.23	10.14	8.43	9.60

Reduction rate (%)

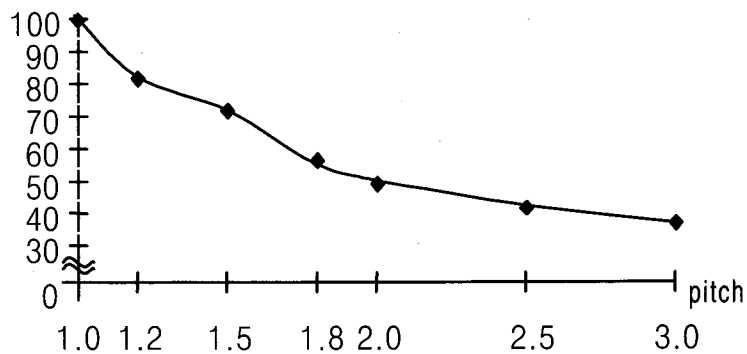


Figure 1. Reduction rate of average absorbed doses with change of pitch in abdominal

나선형 스캔에서 1.0의 pitch를 사용한 경우에 환자가 받는 피폭선량을 기준으로 하였을 때 1.2 pitch의 적용시 선량은 82.1%로 감소하였으며, 1.5 pitch의 적용시 선량은 72.2%로 감소하였으며, 1.8 pitch의 적용시 선량은 56.8%로 감소하였다. 2.0 pitch와 2.5 pitch의 적용시 선량은 각각 49.5%, 42.0%로 감소하였으며, 3.0 pitch의 적용시는 37.3%로 감소하였다(그림1).

중상부 선량과 간의 좌 우엽, 중상부의 평균선량 사이에는 통계적으로 유용한 차가 없었다.

1. 120 kVp와 200 mAs의 노출조건과 7 mm의 단면두께와 스캔간격으로 시행한 나선형 상복부 CT검사에서의 간을 비롯한 복부 조직이 받는 선량은 25.77 mGy였다.

2. 상복부 나선형 CT검사에서의 환자의 간을 비롯한 복부 조직이 받는 평균 선량은 1.0 pitch의 적용을 기준으로 하였을 때 1.2 pitch 적용시 82.1%, 1.5 pitch 적용시 72.2%, 1.8 pitch 적용시 56.8%, 2.0 pitch 적용시 49.5%, 2.5 pitch 적용시 42.0%, 3.0 pitch 적용시 37.3%로 감소하였다.

고찰 : 나선형 스캔은 1초 이하의 짧은 스캔 속도로 인해 조영제를 일회 급속 주입한 후 고식적 스캔에서는 얻을 수 없는 많은 양의 진단 정보를 제공하고 있는 반면 동일 부위를 2-4회 노출함으로써 검사로 인해 환자가 받는 방사선 피폭량의 증가 가능성이 지적되어 왔다 (Wegener, 1994).

상복부 CT검사의 일회 시행시 주선속 부위에 속하는 장기가 받는 피폭 선량의 범위가 20-26 mGy(김문찬 등, 1998)와 20-27 mGy(Panger 등, 1989)인 것을 미루어 볼 때 3-4 phase로 시행되는 liver나 liver pre- & post-contrast helical CT의 경우 실제 환자가 받는 선량은 100 mGy 이상이 될 수 있다는 점을 완전히 배제할 수는 없다. 인체 장해를 야기 시킬 수 있는 진료용 저선량의 한계가 1회 노출시 약 100 mSv(Mordan, 1989)인 점을 고려하면 liver 등의 multi-phase 나선형 스캔이나 CT 혈관조영촬영에 의한 피폭은 심각하게 고려되어야 한다.

이러한 환자 피폭의 감소를 위해서는, 체적 데이터의 획득이 가능한 나선형 스캔의 이점을 이용하여, pitch를 증가시켜 스캔한 후 영상 재구성 과정에서 간격(increment)을 줄이는 기법이 권고된다. Pitch를 증가시키면 영상의 선예도는 동일하거나 다소 향상되는 반면 병소 감지능과 대조도 대 잡음비가 다소 저하된다(Hu와 Fox, 1996). 이러한 영상의 질적 변화를 감안하면 mAs를 상대적으로 높이고 pitch를 증가시키거나 단면 두께를 얇게 하고 pitch를 증가시켜, pitch 증가에 따른 영상의 질 저하를 방지하고 환자가 받는 방사선 피폭을 감소시키는 기법이 권고된다. 또한 필요 이상의 촬영 단면 수를 줄이고 현저한 영상의 질적 저하가 없는 범위에서 노출 조건을 감소시켜야 한다.

일반 방사선 촬영시 환자가 받는 방사선 피폭량의 평가와 선량 감소에 관한 연구는 국외 뿐 아니라 국내에서도 활발하게 진행되고 있으며, 최근 들어 고식적인 스캔방법을 사용하여 두부 및 흉복부의 CT검사시 인체 조직이나 장기가 받는 방사선 피폭선량에 관심이 많아지고 있다. 하지만 나선형 CT스캔에서의 피폭선량 평가에 관련된 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 spiral CT 검사시 pitch 변화에 따라 환자가 받는 피폭선량의 직접적인 제시가 예상되며, 영상의 질과 피폭선량 관계를 규명하는 기초자료로서 활용될 수 있으리라 생각된다.

결론 : 상복부 고식적 CT검사에서 주선속 부위에 속하는 장기가 받는 피폭 선량의 범위가 20-27 mGy인 것을 미루어 볼 때 3-4 phase로 시행되는 liver나 liver pre- & post-contrast helical CT의 경

우 실제 환자가 받는 선량은 100 mGy이상이 될 수 있다는 점을 완전히 배제할 수는 없다. 인체 장해를 야기 시킬 수 있는 진료용 저선량의 한계가 1회 노출시 약 100 mSv인 점을 고려하면 liver 등의 multi-phase 나선형 CT나 CT 혈관조영촬영에 의한 피폭은 심각하게 고려되어야 한다. 이러한 환자 피폭의 감소를 위해서는, 체적 데이터의 획득이 가능한 나선형 스캔의 이점을 이용하여, pitch를 증가시켜 스캔한 후 영상 재구성 과정에서 간격(increment)을 줄이는 기법이 권고된다. 또한 필요 이상의 촬영 단면 수를 줄이고 현저한 영상의 질적 저하가 없는 범위에서 노출 조건을 감소시켜야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 김문찬, 장광현, 정환, 주상규. 고식적 CT와 나선형 CT검사시 장기 및 조직의 방사선 흡수선량. 대한방사선사협회지 Vol.24 No.3 1998.
2. Fishman EK, Jeffrey RB. Spiral CT principle, techniques, and clinical application. New york: Raven press, 1995:1-15.
3. Hu H, Fox G. The effect of helical pitch and beam collimation on the lesion contrast and slice profile in helical imaging. Med. Phys. 23, 1996:1943-1954.
4. Modan B. Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation. Lancet 1989;1:629-631.
5. 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.
6. Solon Technologies Inc. Manual of model 5500 automatic TLD reader. Ohio: Publication NO. 5500-0-U-0793-003, 1993.
7. Spiral CT principle, techniques, and clinical application. New york : Raven press
8. Wegener O II. Whole body computed tomography, second edition. Blackwell scientific publications 1994;3-9:565-580.