

TACE의 중재적 시술시 환자의 피폭선량 평가

— The Evaluation of Patients' Radiation Dose During TACE of Interventional Radiology —

충남대학교병원 영상의학과 · 충남대학교 의과대학 의공학교실¹⁾

이승열 · 임현수¹⁾ · 한만석

— 국문초록 —

TACE의 중재적 시술시 환자와 시술자가 받는 피폭선량을 평가하고, 환자의 피폭선량을 최소화하기 위한 방안을 모색하기 위함이다.

2010년 6월부터 9월까지 중재적 시술의 빈도와 방사선 피폭의 양이 비교적 큰 TACE 시술환자를 대상으로 혈관조영장비(Philips Allura Xper FD 20)와 장비내 장착된 Ionization chamber에 의해 나타나는 DAP(Dose area product)값에 교정상수를 적용시켜 시술시 환자가 받는 유효선량을 근사적으로 얻어냈으며 환자와 시술자의 갑상선과 생식선 주위에 TLD를 부착하여 피폭선량을 산출하고 SPSS 통계에 의한 분석과 평가를 하였다.

DAP값에 의해 산출된 TACE 시술시 1인당 ED(Effective Dose)는 평균 18.43 ± 6.63 mSv로 나타났으며 이는 전국 평균값의 75%에 해당한다. 또한 TLD에 의해 측정된 환자의 갑상선과 생식선부위의 1인당 평균피폭선량은 각각 0.37 mSv, 0.77 mSv로 나타났으며 보호용구를 착용한 시술자는 환자 1인당 각각 0.07 mSv, 0.01 mSv의 평균피폭선량을 받았다.

시술에 참여하는 모든 의료진들은 법적 선량한도의 적용을 받지 않는 방사선의료피폭에 대해 경각심을 가져야하며, 영상모니터에 실시간으로 표시되는 DAP값을 이용하여 환자의 피폭선량을 고려하며 시술에 임해야 하며 시술에 방해가 되지 않는 한도 내에서 환자에게 차폐용구를 적절히 활용해야 한다.

중심 단어: 환자피폭선량, DAP, TLD, TACE, 중재적 시술

I. 서 론

UNSCEAR Report 2000에 따르면 자연방사선원에 의한 연간 세계 인구 1인당 유효선량은 평균 2.4 mSv이며, 개인선량의 범위는 비교적 광범위하여 약 65%는 연간 1

mSv와 3 mSv 사이, 25% 1 mSv 미만, 10%는 3 mSv 이상의 유효선량을 가진다고 보고하고 있다. 또한 인공방사선원의 대부분은 의료피폭(78.3%)이며 유효선량은 1인당 약 0.4 mSv로 보고하였다¹⁾. 이는 의료 현실이 열악한 개발도상국에서는 0.02 mSv, 선진국에서는 1.2 mSv로 보고

*접수일(2011년 7월 26일), 심사일(2011년 8월 17일), 확정일(2011년 9월 6일)

교신저자: 한만석, (301-721) 대전광역시 중구 문화로 282
충남대학교병원 영상의학과
TEL: 042-280-7337, FAX: 042-280-7952
E-mail: angio7896@naver.com

하고 있으며 1997년도 유럽의 결과를 참고할 때 인구 1인당 진단용 피폭은 2.15 mSv(핵의학 포함)로 ICRP 60의 공중피폭 선량한도인 1.0 mSv보다 높은 결과를 나타내고 있다²⁾. 하지만 의료상의 방사선 피폭은 피폭이 정당화되고, 피폭에 의한 이득이 환자 자신에게 돌아온다고 보고 있으며, 방사선진료에 필요한 방사선량은 개개인의 사례에 따라 다르고 확실적인 값을 정할 수 없기 때문에 국내법과 ICRP 권고에서 정하는 선량한도의 적용대상에서 제외가 된다는 점, 그리고 국내 의료피폭에 관한 통계치가 아직 발표되지 않았으나 국내 의료현실을 비춰 볼 때 환자의 피폭 선량이 선진국 수준이라 예상하며 첨단 의료기기의 발달과 고령화에 따른 방사선 진단과 치료의 증가를 고려해 볼 때 더 이상 환자와 시술자에 대한 피폭선량을 간과하기에는 어려움이 있을 거라는 생각에 이 연구를 시작하였다. 특히, 방사선 진단영역에서 피폭선량이 많은 중재적 시술(Interventional radiology; IVR) 중 Fluoroscopy time이 길고 가장 빈번하며 일회성시술이 아닌 수 개월에서 수 년의 기간을 두고 시행하는 간동맥 화학색전술(Transarterial chemoembolization; TACE)을 시술하는 환자를 대상으로 본 연구를 시행하였다. 또한 TACE 대상 환자는 정기적으로 방사선피폭을 수반하는 검사를 지속적으로 장기간 받기 때문에 일반인의 의료피폭선량인 1.2 mSv를 훨씬 초과한다고 예상되며 피폭선량에 대한 평가가 필요하기에 TACE 대상환자와 시술자의 피폭선량을 DAP(Dose-area product)와 TLD 선량계를 이용하여 측정, 산출해서 주 피폭부위인 복부의 유효선량을 평가해 보았고 시술에 따른 산란선의 영향으로 인해 방사선 감수성이 예민한 결정장기인 갑상선(Thyroid)과 생식선(Genital gland)의 유효선량을 평가해 보았으며 환자와 시술자의 피폭선량 경감의 필요성을 고려해 보았고 방사선 피폭에 둔감한 사회적 구조에 경각심을 주고자 이 연구를 시작하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

이 연구는 2010년 6월부터 9월까지 대전 C 대학병원에서 TACE 시술을 시행한 환자 34명을 대상으로 하였다.

2. 연구 재료 및 방법

1) 혈관조영장치와 Ionization chamber

연구에 사용된 혈관조영장비는 아래 사진 Fig. 1(a)의 Philips사의 Allura Xper FD 20(Philips, Eindhoven, Netherlands)을 사용하였으며, 장비에 내장되어 있는 Ionization chamber를 통해 얻어진 선량데이터는 자체 Software를 거쳐 자동으로 DAP($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$)값을 얻을 수 있었다(Fig. 1(b)). 여기에 Table 1의 Dose Conversion Coefficients^{3,5)}를 적용시켜 근사적 유효선량(Effective dose, ED)을 산출해 내었다.

Table 1. Dose Conversion Coefficients for Interventional Procedures (Unit: mSv/Gy · cm²)

| Dose Conversion Coefficients | |
|------------------------------|------|
| TACE | 0.12 |
| PTBD | 0.26 |
| TFCA | 0.1 |
| GDC | 0.03 |

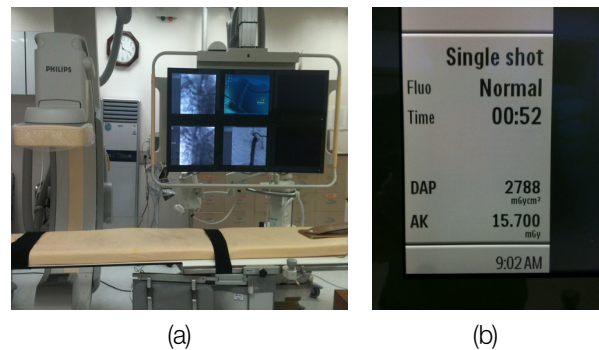


Fig. 1. Philips Allura Xper FD 20 (a) and DAP and Air-Kerma value displaying on the procedure monitor (b)

2) TLD(Thermoluminescent dosimeter)

(1) TL 소자

인체의 유효 원자번호($Z_{\text{eff}}=7.42$)와 인체등가물질인 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ($Z_{\text{eff}}=7.4$)와 CaSO_4 TL소자(Fig. 2)를 사용함으로써 환자의 피폭 선량 평가를 위해 가장 적합한 물질이라 판단되며 실험에 사용된 TL소자는 Panasonic(UD-802)이라는 상품명으로 상용화된 제품이다.

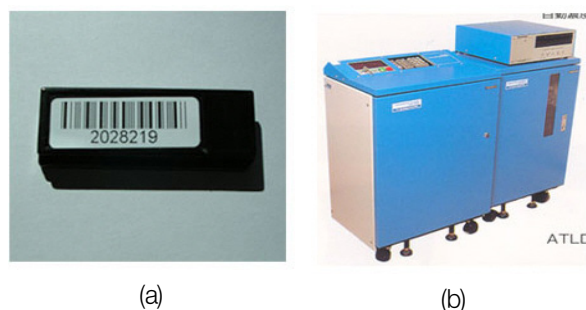


Fig. 2. TLD (a) and reading System (b) using this study

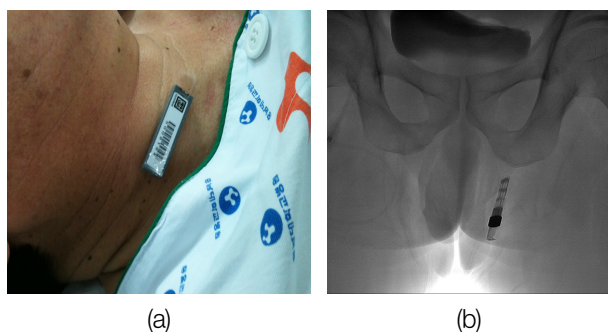


Fig. 3. TLD attached to Tyroid (a) and Genital gland (b)

(2) TLD 판독시스템

TLD에 사용된 판독시스템은 Panasonic사의 UD-710R 모델(Fig. 2)으로써 구성은 크게 적외선 가열(소형팅스텐 램프)에 의한 열공급원, 온도와 가열을 제어하는 장치, 소자로부터 방출되는 빛을 전기적 신호로 바꿔주는 PMT(Photo multiplier Tube), 데이터 획득장치의 4가지로 구성된다.

2. 실험 방법

시술에 사용되는 혈관조영 기계 자체에 설치되어 있는 Ionization chamber를 통해 산출된 DAP값을 이용하여 대상 환자의 복부 유효선량을 환산하였으며, 이에 수반되어지는 산란선에 의한 결정장기의 피폭선량 평가를 위해 대상 환자의 갑상선과 생식선 부위에 TLD를 부착한 후 모든 대상 환자들의 누적 선량을 판독 후 통계하였다.

이는 환부의 위치, 크기, 생리적 상태, 그리고 시술자의 능력과 환경에 따라 시술 시간과 피폭선량이 각기 다르기 때문에 대상 환자에 대한 누적 선량을 측정할 다음 이를 평균적 데이터를 이용해 통계하였다. 또한 TACE의 시술시 보호용구를 착용한 시술자의 갑상선과 생식선의 피폭선량을 측정하였다.

3. 데이터의 통계

대표적 통계 프로그램인 SPSS 1.8K 프로그램을 사용하여 환자가 받은 피폭선량과 그 밖의 여러 가지 요소들에 대하여 최소값, 최대값, 평균값, 표준편차 등의 분석과 평가를 통계 프로그램에 의해 산출해 냈으며, 시술자가 TACE 시술 시 피폭 받았던 특정부위의 선량을 분석하여 환자 1인당 각 부위별 선량 값과 표준 편차를 산출해 내었다.

III. 결 과

1. 피폭선량의 평가

1) 대상 환자의 구분

(1) 대상 환자의 남녀 성비

연구 대상 환자 34명의 성비에 따른 분류는 아래 표(Table 2)와 같이 남성이 73.5%, 여성이 26.5%로 남성이 약 3배 정도 많았다.

| | No. | Percentage(%) |
|--------|-----|---------------|
| Male | 25 | 73.5 |
| Female | 9 | 26.5 |

(2) 연령에 따른 변화

대상환자의 분포는 30대부터 80대까지 다양하였으며 아래 표(Table 3)와 같이 평균 나이는 62.44 ± 10.89 였다.

| | Min. | Max. | Mean | SD |
|-----|------|------|-------|-------|
| Age | 38 | 80 | 62.44 | 10.89 |

또한 이 연구에서 보면 크게 유의한 차이는 없지만 환자의 연령이 증가함에 따라 시술 대상자도 증가하다가 60대에서 가장 높은 분포를 이루었고 70대 이후로 조금씩 줄어가는 양상을 볼 수 있다. 이는 환자가 평균수명에 가까워지고 간세포암의 생존율과 연관되어 그 수가 줄어드는 거라 사료된다.

연령이 증가할수록 환자의 Physical condition이나 혈관의 석회화(Calcification) 또는 협착(Stenosis) 등으로 인하여 시술기구가 시술부위의 접근이 용이하지 않아

시술시간이 증가할거라 예상하였으나 통계 결과에서는 연령에 따른 Fluoro time과는 관계가 없는 것으로 보인다. 또한 환자의 연령과 평균 유효선량과의 관계도 없는 것으로 보인다(Table 4).

Table 4. Statistics of Fluoro time & ED for Age

| Age | No. | Mean time(min) | Mean ED(mSv) | Percentage(%) |
|-------|-----|----------------|--------------|---------------|
| ~39 | 1 | 13.68 | 14.42 | 2.94 |
| 40~49 | 4 | 11.93 | 15.65 | 11.76 |
| 50~59 | 7 | 10.69 | 20.04 | 20.59 |
| 60~69 | 13 | 11.89 | 20.10 | 38.24 |
| 70~79 | 8 | 11.47 | 15.96 | 23.53 |
| 80~ | 1 | 9.30 | 27.48 | 2.94 |

2) DAP 값을 이용한 피폭선량의 환산

혈관조영장치 내에 설치되어 있는 Ionization Chamber에 의해 산출되는 Fluoroscopy DAP, Angiography DAP, 그리고 Total DAP 값을 3개월간 개개인별로 기록하였고 각각의 데이터에 아래와 같은 식을 통해(d) TACE에 해당하는 교정상수를 적용해서 근사적인 ED(Effective dose)값을 구하였으며, 마지막으로 통계 프로그램을 이용하여 아래와 같은 데이터를 산출하였다(Table 5).

$$ED [mSv] = DAP [Gy \cdot cm^2] \times k [mSv/Gy \cdot cm^2] \dots\dots\dots (a)$$

여기서 *k*는 Dose Conversion Coefficients for Interventional Procedures이며, TACE에 해당하는 값은 0.12이다³⁾.

Table 5. Statistics of ED value using DAP (n=34)

| | Min. | Max. | Mean | SD |
|----------------------------------|-------|--------|--------|-------|
| Fluo.DAP [Gy · cm ²] | 24.31 | 130.46 | 58.44 | 26.59 |
| AngioDAP [Gy · cm ²] | 40.46 | 228.23 | 95.17 | 95.17 |
| TotalDAP [Gy · cm ²] | 75.99 | 340.59 | 153.61 | 55.24 |
| ED [mSv] | 9.12 | 40.87 | 18.43 | 6.63 |

3) 물리적 변수들에 대한 통계

DAP를 이용한 피폭선량 평가 이외에도 아래 표(Table 6)에 나열된 요소들(Parameters)의 통계와 평가를 연구

하였다. 투시시간(Fluoro time)이 짧고, 관전압(kVp)이 낮고, 관전류(mAs)가 낮고, SID(Source to image receptor distance)의 길이가 짧고, Image 수가 적고, Angiography의 횟수가 적을수록 피폭선량이 감소된다는 것을 알 수 있었다.

Table 6. Statistics for physical parameters (n=34)

| | Min. | Max. | Mean | SD |
|------------------|------|-------|--------|-------|
| Fluoro time[min] | 5.82 | 25.72 | 11.52 | 4.54 |
| kVp[kV] | 80 | 80 | 80 | - |
| mAs[mA · sec] | 17 | 54 | 29.53 | 10.02 |
| SID [cm] | 99 | 120 | 112.69 | 6.61 |
| Images [frame] | 47 | 152 | 90.79 | 24.92 |
| No. of Angio | 3 | 6 | 4.03 | 1 |

2. 산란선에 의한 피폭선량 평가

1) 대상 환자의 피폭선량 평가

시술 중 방사선에 직접적으로 피폭되는 조사범위 외에도 환자나 기계적인 원인으로 인하여 산란선이 생겨난다. 이러한 산란선에 의한 피폭선량을 측정하기 위해서 환자의 갑상선과 생식선 부위에 TLD chip을 부착하여 모든 대상 환자의 표층과 심층 누적선량을 아래 표(Table 7)와 같이 측정하였고, DAP 값이 나타내는 비율에 따라 환자별로 피폭선량을 근사적으로 산출하였으며 아래 표(Table 8)와 같이 통계하였다.

Table 7. Cumulative dose by scattering ray (Unit: mSv)

| | Surface dose | Depth dose |
|---------------|--------------|------------|
| Thyroid | 14.52 | 12.64 |
| Genital gland | 25.15 | 26.06 |

Table 8. Individual dose by prortion of DAP (Unit: mSv)

| | Min. | Max. | Mean | SD |
|---------------|------|------|------|------|
| Thyroid | 0.38 | 1.7 | 0.77 | 0.28 |
| Genital gland | 0.18 | 0.82 | 0.37 | 0.13 |

2) 시술자의 피폭선량 평가

본 연구에서 대상 환자를 시술하는 동 기간 동안 보호 장구를 착용한 의사의 갑상선, 생식선, 손의 표층선량,

심부선량, 환자 1인당 선량을 TLD를 통해 통계해 보았고 Monte carlo simulation에 의한 해당 보호용구의 BSF(Backscatter factor)값(Table 9)을 보정하여 산란선에 의한 시술자의 부위별 피폭선량을 산출해 보았다³⁾(Table 10).

이는 시술자의 피폭선량은 조사범위 안에서의 직접적인 신체노출에 의한 피폭이 아닌 대부분 산란선에 의한 피폭이기 때문이다.

Table 9. Backscatter factor by Monte carlo simulation

| Protector | Backscatter factor |
|--------------------------|--------------------|
| 0.5mmPbThyroid protector | 1.0024 |
| 0.5 mmPb Apron | 1.0034 |

Table 10. Operator's exposed dose by scattering ray
(Unit: mSv)

| | Surface dose | Depth dose | Dose per a person |
|---------------|--------------|------------|-------------------|
| Thyroid | 2.23 | 2.44 | 0.07 |
| Genital gland | 0.31 | 0.33 | 0.01 |
| Hand | 1.47 | - | 0.04 |

IV. 고 찰

TACE 시술의 1회당 평균 유효선량(ED)은 18.43 ± 6.63 mSv로 나타났으며 이는 식약청에서 연구한 전국의 병원을 대상으로 종합한 자료의 평균 값(25.43 ± 19.13)과 비교했을 때 75%에 해당하는 낮은 수치를 보였다. 하지만 이 수치는 국내 원자력법과 국제 방사선 방호위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)에서 권고하는 아래 표(Table 11)의 일반인 연간 유효선량 한도를 18배가 넘으며, 방사선 작업 종사자의 연간 유효선량한도와 비슷한 수준의 많은 피폭을 받는 것으로 나타났다.

Table 11. Legal dose limit⁶⁾ (ICRP 60)

| | Workers | Public |
|----------------|--------------|-------------|
| Effective dose | 20 mSv/year | 1 mSv/year |
| Crystalline | 150 mSv/year | 15 mSv/year |
| Skin | 500 mSv/year | 50 mSv/year |
| Hands, Feet | 500 mSv/year | 50 mSv/year |

하지만 의료피폭은 피폭에 대한 이득이 환자 자신에게 돌아가는 정당화를 갖게 되고 또한 선량한도에서 제외가 된다는 점에서 방사선 장해에 노출될 위험이 크다는 생각을 하게 되었다. 따라서 방사선 장비를 사용하는 의료진들이 이러한 문제점들을 인식하고 환자의 피폭의 최소화 노력해야 할 것이다. 이러한 의료피폭의 문제점을 인식한 ICRP에서도 2001년 발간된 ICRP Publ. 85에서 「중재적 의료절차에서 방사선상해의 예방」이라는 가이드라인을 시술자들에게 권고하고 있다^{7,8)}.

환자의 갑상선과 생식선 부위에 부착한 TLD의 값으로 시술에 따라 발생하는 산란선의 피폭 양을 측정하였고 1회 시술시 1인당 평균 0.77 mSv, 0.37 mSv의 선량이 산출되었다. 이러한 수치들을 관심없이 본다면 작은 선량으로 보이지만 이들을 조직가중치를 적용한 전신에 대한 유효선량으로 가정한다면 각각 19.25 mSv, 4.65 mSv로 나타낼 수 있고 각각 연간 자연방사선량의 약 8배, 2배에 해당하는 간과할 수 없는 수치이며 문제는 이런 환자들이 시술 후에도 추적검사와 시술을 지속적으로 받아야 한다는 점이다.

이러한 데이터를 봤을 때 시술부위의 방사선 차폐는 불가 하더라도 시술 시 생기는 산란선에 의한 환자의 피폭선량을 감소시키기 위해 비시술부위에 대한 차폐가 필요하다라고 사료된다.

또한 본 연구에서 시술자의 연구결과 환자 1인당 산란선에 의한 피폭선량이 갑상선이 0.07 mSv, 생식선이 0.01 mSv선량이 나왔으며 선원과 비슷한 거리를 지닌, 보호용구를 착용하지 않는 환자의 TLD선량과 기하학적조건을 무시하고 단순 비교했을 때 0.77 mSv, 0.37 mSv의 선량과 각각 약 11배, 37배의 선량의 차이를 보였다. 또한 선행논문⁹⁾에서 연구한 자료를 보았을 때 갑상선과 복부의 보호용구의 착용으로 인한 방사선 감소율이 각각 92.8%, 93%였다는 점에서 보호용구 착용의 절대적인 필요성을 나타내고 있었다. 이러한 문제해결의 일환으로 식약청에서 2007년에 발표한 보고서에서 환자의 피폭선량을 감소시킬 수 있는 방안⁴⁾을 다음과 같이 제시했다.

- 1) Fluoroscopy mode를 낮은 단계로 설정한다.
- 2) 불필요한 영상확대를 지향한다.
- 3) SID를 최소화하고 SOD를 최대화 한다.
- 4) 적절한 부가필터를 사용한다.
- 5) Fluoroscopy 시 FOV를 축소한다.
- 6) Spot image 대신 Image capture를 지향한다.
- 7) Pulse 투시 mode를 사용한다.
- 8) 적절한 차폐용구를 이용한다.

이처럼 시술에 참여하는 의료진들은 항상 환자의 피폭 선량에 대한 관심을 가져야 하며, 환자의 피폭선량을 감소시킬 수 있는 위 항목들을 숙지해야 한다.

V. 결 론

본 실험을 통해 방호용구 착용의 중요성을 다시 한번 확인할 수 있었다. 시술에 참여하는 모든 의료진들은 법적 선량한도의 적용을 받지 않는 방사선의료피폭에 대해 경각심을 가져야 하며, 영상모니터에 실시간으로 표시되는 DAP값을 이용하여 환자의 피폭선량을 고려하며 시술에 임해야 한다. 또한 시술에 방해가 되지 않는 한도 내에서 환자에게 차폐용구를 적절히 이용해야 한다.

참 고 문 헌

1. UNSCEAR Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Monty Charles, 2001
2. Dieter F. Regulla, Heinrich Eder: Patient Exposure in Medical X-ray Imaging in Europe, Radiation Protection Dosimetry, 114, 11-25, 2005
3. F.W. Schultz, J. Zoetelief: Dose Conversion Coefficients for Interventional Procedures, Radiation Protection Dosimetry, 117, 225-230, 2005
4. 중재적방사선분야에서의 환자피폭선량 평가, 식품의약품안전청, 2007
5. D. Bor, T. Sanck, T. Olgar, et al.: Comparison of effective doses obtained from dose-area product and air kerma measurements in interventional radiology, The British Journal of Radiology, 77, 315-322, 2004
6. ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, 1990
7. ICRP Publication, 85: Interventional Procedures Avoiding Radiation Injuries, Publication 85, 2001
8. 강병삼, 전미은, 박형신, 홍광표: TACE 시술 시 DAP와 환자 피폭선량관계, 대한심·맥관중재기술학회지, 6(1), 191-198, 2003
9. 고신관, 강병삼, 임청환: 중재적 방사선 분야 방호용구 차폐효과, 방사선기술과학, 30, 213-219, 2007

• Abstract

The Evaluation of Patients' Radiation Dose During TACE of Interventional Radiology

Seung-Youl Lee · Hyun-Soo Lim¹⁾ · Man-Seok Han

Department of Radiology, Chungnam University Hospital ·

¹⁾*Department of Bio-Medical Engineering, Chungnam University*

Goal of this study was to measure effective radiation dose of highly exposed patients who were treated by TACE, interventional radiology from June to September 2010. The effective radiation dose was approximately measured by weighted DAP (dose area product) with the ionization chamber which is inserted in angiography equipment (Philips Allura Xper FD 20). Radiation dose was measured by TLD which was attached to patients' thyroid and genital gland. The average of ED (effective dose) was 18.43 ± 6.63 mSv per person and the average of radiation dose of thyroid and genital gland was 0.37 mSv, 0.77 mSv, respectively. The mean radiation dose of operators who wear the protector was 0.07 mSv for thyroid, and 0.01 mSv for genital gland, respectively. All staffs involved in TACE treatment, have to keep them aware and use the appropriate protectors to reduce the radiation dose of patient.

Key Words: Patients' radiation dose, DAP, TLD, TACE, Interventional radiology