

Cumulative Radiation Exposures during Diagnosis and Treatments with Diagnostic Radiology Tools: In Patient with Hepatocellular Carcinoma<sup>1</sup>장기간 진단용 방사선 촬영검사를 받는 환자에서 누적 방사선 피폭에 대한 연구: 간암환자를 대상으로<sup>1</sup>Jung Hyun Kim, MD<sup>2</sup>, Chan Park, MD<sup>1</sup>, Jang Hyeon Song, MD<sup>1</sup>, Yong Tae Kim, MD<sup>1</sup>, Nam Yeol Yim, MD<sup>1</sup>, Nam Kyu Chang, MD<sup>2</sup>, Jae Kyu Kim, MD<sup>1</sup>, Heoung Keun Kang, MD<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Radiology, Chonnam National University Hospital, Gwangju, Korea<sup>2</sup>Department of Radiology, Chonnam National University Hwasun Hospital, Hwasun, Korea**Purpose:** To evaluate the cumulative radiation dose for diagnosis and treatment with diagnostic radiology tools for patients with hepatocellular carcinoma.**Materials and Methods:** Cumulative radiation dose of 98 patients with hepatocellular carcinoma were examined by diagnostic CT, CT for follow-up, once or repeated transarterial chemoembolization (TACE), and X-ray examinations. Thus, we calculated the total cumulative effective doses per patient.**Results:** The mean follow-up periods were 85 (51-102) weeks. A total of 565 CT scans, 262 TACEs, and 1679 X-ray examinations were enrolled. Cumulative effective dose values per person of  $91.4 \pm 50.6$  (8.4-244.7) mSv,  $49.2 \pm 44.7$  (5.3-247.6) mSv, and  $3.6 \pm 4.7$  (0.02-22.04) mSv were measured for CT, TACE, and X-ray examinations. Total cumulative effective dose values per person were measured as  $144.2 \pm 87.4$  (15.4-513.5) mSv.**Conclusion:** The patient who underwent TACE are exposed to pretty high dose radiations, thus, significant efforts to reduce the radiation dose are necessary.**Index terms**

Radiation Dosage

Hepatocellular Carcinoma

Transcatheter Arterial Chemoembolization

Computed Tomography, X-Ray

Received March 2, 2013; Accepted July 24, 2013

**Corresponding author:** Jae Kyu Kim, MD  
Department of Radiology, Chonnam National University Hospital, Chonnam National University School of Medicine, 42 Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea.

Tel. 82-62-220-5746 Fax. 82-62-226-4380

E-mail: kjkrad@jnu.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper was supported by a research grant from the General Electric Healthcare, 2010.

## 서론

의료수준의 향상과 전산화단층촬영(computed tomography; CT) 등과 같은 진단 기기의 발달은 영상의학영역의 확장을 가져옴으로써 이전보다 많은 영상의학적 검사와 중재적 시술이 이루어지게 하였다. 이에 따른 의료용 방사선 피폭이 증가하고 있어 현재는 인류가 받는 인공방사선 피폭 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 실정이다(1, 2). 우리나라에서도 방사선 피폭량의 정확한 통계는 없으나 영상의학기기의 장비수와 검사 건수가 증가하여 국민 1인당 의료용 방사선 피폭량이 증가했다고

추정해 볼 수 있다(1, 3).

의료용 방사선 피폭은 환자 개개인의 의학적 상황에 따라 검사의 이득과 피폭의 위험성에 대해 평가해야 하므로 일률적인 선량한도를 둘 수 없다. 또한 대부분에서 의료용 방사선 피폭에 의한 이득이 환자 자신에게 돌아온다고 보고 있어 의료용 방사선 피폭은 정당화되고 별다른 법률적 제재 또한 두고 있지 않다(4). 하지만 방사선 피폭량에 대한 정보와 그 위험도에 대한 정확한 인식의 필요성이 증가함에 따라 피폭량을 최소화하기 위한 선량 계측 및 의료방사선 방어를 위한 연구가 이루어지고 있다. International Commission on Radiological Protection에

서는 의료용 방사선 피폭의 저감화를 위해 환자선량 권고량 확립 및 적용을 각국에 권고하고 있으며, 우리나라에서도 방사선 검사와 중재적 시술시 환자가 받게 되는 피폭선량을 추정하고 기준선량 권고안을 마련하기 위한 노력이 진행 중이다(4-6). 현재 중재적 시술에 따른 방사선 피폭량에 대한 측정은 몇몇 보고에서 이루어지고 있으나 아직까지 환자 개인별 의료용 방사선 피폭량에 대한 측정은 거의 없는 실정이다(7, 8).

특히 간암의 치료에 전 세계적으로 널리 시행되고 있는 중재적 시술 중 하나인 간동맥화학색전술(transarterial chemoembolization; TACE)인 경우 병의 진행 정도에 따라 시술 시간이 다르고 일회성 시술이 아닌 수개월에서 수년의 기간을 두고 시행하며, 정기적으로 CT와 같은 방사선 피폭을 수반하는 검사를 지속적으로 장기간 시행해야 하므로 방사선 피폭에 대한 위험도가 높아 의료용 방사선 피폭 방어에 대해 먼저 생각해 보아야 할 문제이다(9).

이에 이 연구에서는 TACE를 시행 받은 간암 환자들을 대상으로 일정기간 동안 환자에게 피폭된 의료용 방사선량을 수집, 분석하여 유효선량을 평가하였으며, 이를 이용하여 환자에게 누적된 총 방사선 피폭선량의 정도에 대해 알아보고 피폭량 경감의 중요성에 대해 생각해 보고자 하였다.

## 대상과 방법

2010년 1월부터 2010년 12월까지 간세포 암으로 진단받고 TACE를 시행 받은 98명의 환자를 대상으로 추적 2년 동안 시행한 영상의학적 검사와 TACE에 의한 방사선 피폭량을 측정하였다.

처음 진단시 시행한 CT와 치료 후 추적관찰을 위해 시행한 CT, 한 번 또는 반복되는 TACE, 그리고 추적기간 중 시행한 일반방사선촬영의 종류별 촬영 횟수를 기록하였으며 각각에서 피폭된 방사선량을 기록하였다. 일반적으로 처음 TACE를 시행한 후 추적관찰 CT를 1개월, 3개월, 그리고 6개월 순으로 촬영하였으며, 추적관찰 도중 간암 병변이나 간 내의 다른 부위에서 재발한 경우 TACE를 재시행하였다.

대상 환자들에서 모든 영상의학적 검사와 TACE 전후의 의무기록을 후향 조사하여 검사나 시술 후에 피부 발진, 괴사, 그리고 물집 형성 등 방사선에 의한 피부장애 유무를 조사하였다.

사용된 CT는 Somatom Definition FLASH (Siemens Medical Solution, Erlangen, Germany)와 LightSpeed VCT (GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA)였다. 모든 환자군은 전후 방향으로 스카우트 사진을 찍은 후 조영 전 사진을 얻고, 정맥 내 조영제를 주사한 후 3중시기 조영증강 CT (관전압 120 kVp;

관전류 100~300 mA)를 촬영하였으며, 간동맥기의 촬영은 상복강 대동맥 수준에서 100 Hounsfield unit에 도달한 후 18초 후로 하였으며, 간문맥기와 지연기는 각각 80초와 180초의 고정간격을 두고 시행하였다. 조영 전, 동맥기, 지연기 영상의 스캔 범위는 간원개(hepatic dome)에서부터 양측 신장의 하극(lower pole)까지로 하였고, 문맥기 영상의 스캔 범위는 간원개에서부터 두덩결합(symphysis pubis)까지 포함하였다. 모두 비이온성 조영제(Ultravist 370; Bayer schering Pharma, Berlin, Germany)를 2 mL/kg씩 mechanical power injector (Empowered CTA; E-Z-EM, Bicester, UK)로 3 mL/sec의 속도로 주입하였다. 피폭선량은 선량길이곱(dose length product; DLP)과 검사부위에 따른 변환 인자(복부  $\kappa = 0.015 \text{ mSv/mGy}\cdot\text{cm}$ )를 곱하여 유효선량(effective dose)으로 계산하였다(10).

TACE에 사용된 혈관조영촬영기는 INNOVA 4100(GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA)을 사용하였으며, 시술자의 숙련도에 의한 오차를 줄이기 위하여 1명의 영상의학과 전문의에 의해서 시술되었다. 혈관조영기기 자체에 내장되어 있는 ionization chamber를 통해 얻어진 선량데이터를 통해 자체 software를 거쳐 자동으로 투시와 촬영시의 면적선량률(dose area product; DAP) 값을 측정하였고, 시술이 모두 끝난 후 측정된 총 시간과 투시시간을 함께 개인별로 기록하였다. 각각의 얻어진 데이터에 방사선 중재적 시술에 해당하는 변환 인자(간동맥화학색전술  $\kappa = 0.15 \text{ mSv/Gy}\cdot\text{cm}^2$ )를 적용하여 근사적인 유효선량을 구하였다(11).

일반방사선촬영은 AXIOM aristos TX, AXIOM aristos FX, 그리고 AXIOM aristos MX (Siemens Medical Solution, Erlangen, Germany)들을 사용하였다. 흉부후전(chest PA) 촬영, 흉부측면(chest lateral) 촬영, 복부전후(abdomen AP) 촬영, 흉추전후(thoracic AP) 촬영, 흉추측면(thoracic lateral) 촬영, 요추전후(lumbar AP) 촬영, 요추측면(lumbar lateral) 촬영 검사들이 시행되었으며, 이들은 모두 표준 방사선촬영기법을 이용하였다. 각각 환자들에게 시행된 일반방사선촬영을 종류별, 회수별로 기록한 후 검사당 평균 유효선량을 이용하여 총 유효선량을 추정하였다(12).

통계 프로그램인 Statistical Package for the Social Sciences version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 환자가 받은 방사선 피폭선량과 그 밖의 요소들에 대하여 최소값, 최대값, 평균값, 표준편차 등의 분석과 평가를 통해 산출해냈다.

## 결과

총 98명의 대상 환자 중 남자는 83명이었고 여자 15명이었으

며, 평균 연령은 61세(36~80세)였다. 환자들에 대한 총 추적 관찰 기간은 85주(51~102주)였다.

## CT

진단시부터 추적관찰 동안에 시행된 CT의 총 촬영횟수는 565회였으며, 개인당 촬영한 CT의 횟수는 평균 5.8회(1~15회)였다(Table 1). 1회의 CT 촬영에 의해 피폭된 DLP값은  $1070.6 \pm 272.8$  (563~1667) mGy·cm였으며, 피폭 유효선량은  $16.1 \pm 4.1$  (8.4~25.0) mSv였다. 연구기간 동안 개인당 CT에 의해 피폭된 총 DLP값은  $6091.4 \pm 3374.5$  (563~16315) mGy·cm였다(Table 2).

## TACE

총 262회의 TACE가 이루어졌으며, 환자들은 개인당 평균 2.7회(1~8회)를 시술받았다(Table 1). 1회의 TACE를 시행할 때 시술시간은 9분 41초(3분 17초~34분 18초)였고, 이중 투시 시간은 8분 35초(2분 24초~32분 36초)였다. 촬영시 DAP값은  $5955.4 \pm 3301.2$  (1432~42931) cGy·cm<sup>2</sup>였고 투시시 DAP값은  $6433.1 \pm 3998.5$  (1311~25741) cGy·cm<sup>2</sup>로써 총 DAP값은  $12273.4 \pm 5656.5$  (3430~37304) cGy·cm<sup>2</sup>였다. 1회의 TACE에 의한 피폭 유효선량은  $18.4 \pm 8.5$  (5.1~56.0) mSv였다(Table 3). 연구기간 동안 개인당 TACE에 의해 피폭된

총 DAP값은  $32812.6 \pm 29777.6$  cGy·cm<sup>2</sup>였다.

## 일반방사선촬영

일반방사선촬영은 총 1679회 시행되었으며, 개인당 촬영한 일반방사선촬영은 평균 17.1회(1~68회)였다(Table 1). 흉부후 전촬영이 757회, 흉부측면촬영이 423회, 복부후전촬영이 379회, 흉부후전촬영과 흉부측면촬영이 14회씩, 그리고 요추후 전촬영과 요추측면촬영이 각각 46회씩 이루어졌다. 각 검사별 총 유효선량은 Table 4에 나타내었다.

## 방사선에 의한 피부장애

환자들 중에서 CT나 일반방사선촬영 후, 그리고 TACE 시행 후 방사선에 의한 피부장애로 알려진 발진, 괴사, 그리고 물집 형성 등은 보고되지 않았다.

## 총 누적 유효선량

연구기간 동안 간암의 진단과 TACE, 그리고 추적관찰을 위해 사용한 의료용 방사선에 의해 누적된 총 피폭 유효선량은 환자 개인당  $144.2 \pm 87.4$  (15.4~513.5) mSv였다. 이 중에서 CT에 의한 총 피폭 유효선량은 63.4% (91.4/144.2 mSv), TACE에 의한 총 피폭 유효선량은 34.1% (49.2/144.2 mSv), 그리고 일반 방사선촬영에 의한 총 피폭 유효선량은 2.5% (3.6/144.2 mSv)

Table 1. Number of Each Examination per a Person

	Maximum	Minimum	Mean	Standard Deviation
CT	15	1	5.8	3
TACE	8	1	2.7	2
X-ray examination	68	1	17.1	14.6

Note.-TACE = transarterial chemoembolization

Table 2. Statistics of Effective Dose Using DLP during CT and Cumulative DLP

	Maximum	Minimum	Mean	Standard Deviation
DLP (mGy·cm)	1667	563	1070.6	272.8
ED (mSv)	25	8.4	16.1	4.1
Cumulative DLP (mGy·cm)	16315	563	6091.4	3374.5

Note.-DLP = dose length product, ED = effective dose

Table 3. Statistics of Procedure Time and Effective Dose Using DAP during TACE

	Maximum	Minimum	Mean	Standard Deviation
Total time (min.sec)	34.18	3.17	9.41	4.33
Fluoroscopy time (min.sec)	32.36	2.24	8.35	4.24
Total DAP (cGy·cm <sup>2</sup> )	37304	3430	12273.4	5656.5
Image acquisition DAP (cGy·cm <sup>2</sup> )	42931	1432	5955.4	3301.2
Fluoroscopy DAP (cGy·cm <sup>2</sup> )	25741	1311	6433.1	3998.5
Effective dose (mSv)	56.0	5.1	18.4	8.5

Note.-DAP = dose area product, TACE = transarterial chemoembolization

Table 4. Total Effective Dose of Each X-Ray Examinations

Examination	Projection	Typical Effective Dose (mSv)	Numbers of Examination	Total Effective Dose (mSv)
Chest	PA	0.02	757	15.14
	LAT	0.04	423	16.92
Abdomen	AP	0.7	379	265.3
Thoracic	AP	0.4	14	5.6
	LAT	0.3	14	4.2
Lumbar	AP	0.7	46	32.2
	LAT	0.3	46	13.8

Note.-AP = anteroposterior, LAT = lateral, PA = posteroanterior

Table 5. Individual Cumulative Effective Dose (mSv)

	Maximum	Minimum	Mean	Standard Deviation
CT	244.7	8.4	91.4	50.6
TACE	247.6	5.3	49.2	44.7
X-ray Examination	22.04	0.02	3.6	4.7
Total	513.6	15.4	144.2	87.4

Note.-TACE = transarterial chemoembolization

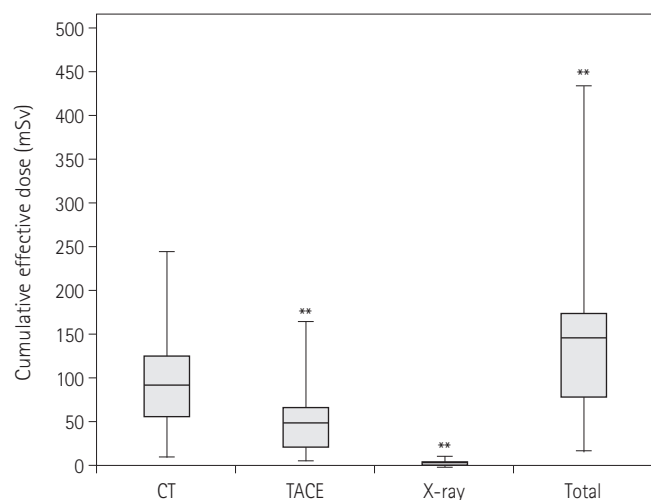


Fig. 1. Box plot shows cumulative effective dose for each examinations and total cumulative effective dose. Data points (\*\*) are extremes and are greater than 1.5 times the interquartile range above each box.

Note.-TACE = transarterial chemoembolization

였다(Table 5, Fig. 1).

## 고찰

방사선은 유전자에 닿으면 유전자를 구성하고 있는 원자 사이의 결합을 끊어버리는 유전자 손상(radiation induced DNA damage)을 일으킬 수 있으며 이러한 유전자 손상은 비교적 노출된 방사선 양이 적은 경우 단시간에 복구된다. 하지만 방사선 양이 많은 경우에 잘못 복구되거나 복구되지 못하는 경우가 생기게 되어 세포 기능의 변화와 사멸, 암 유전자의 생성이나 암

억제유전자의 손상이 일어날 수 있다. 의료계에서 사용되는 저선량 방사선은 일반적으로 이러한 결정적 영향(deterministic effects)이 나타날 수 있는 100 mSv 이하의 낮은 방사선을 말하며 현재까지 100 mSv 이하의 의료용 방사선 피폭에서 아직 인체에 직접적으로 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 증명되지 않은 상태이다(13-15).

전세계적으로 이러한 의료방사선에 의한 피폭량이 증가함에 따라 저선량 방사선의 상해와 이의 잠재성에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이를 예방하기 위한 권고사항 등에 관심이 증가하고 있다. Pierce와 Preston (16)은 50 mSv의 낮은 방사선 피폭에 의해서도 암 발생 위험이 증가하고 50~150 mSv의 방사선 피폭을 받은 사람들의 암 사망률이 증가했다고 보고하였으며, Brenner 등(17)은 CT 촬영에 의한 방사선 피폭으로 암 발생 확률이 증가한다고 주장하였다. 문턱값 없는 선형비례이론(linear-no threshold model)에 따르면 저선량에서도 선량에 비례하여 인간에게 장애의 발생확률을 증가시킬 수 있다고 설명하고 있으며, 또한 저선량 방사선에 의한 암의 발생에는 문턱값이 없다고 간주하고 있다(13, 18, 19).

대표적 진단적 검사인 CT 검사는 다양한 임상 적응증과 촬영 부위, 환자상황에 따라 다양한 검사 프로토콜이 있고 이에 따라 피폭되는 방사선량도 다양할 수 밖에 없다. CT에 의한 평균 유효선량은 검사 부위에 따라 적게는 두부(head) CT의 약 2 mSv에서 복부(abdomen) CT의 약 31 mSv에 이르고, 같은 복부 CT라 할지라도 검사 프로토콜에 따라 다양한 유효선량(10~43 mSv)을 보였다(20, 21).

CT와 같은 디지털 영상은 방사선량이 많으면 영상의 화질이



좋아지고, 선량이 높아지더라도 필름-스크린 촬영시 보일 수 있는 영상화질 저하가 없으므로 방사선량이 불필요하게 증가할 수 있다. 정상보다 높은 방사선량의 노출로 인해 결정적 영향에 의한 피해가 발생한 보고가 있어서, 진단가치가 있는 최소한의 영상화질을 유지할 수 있는 적절한 선량을 설정하는 것이 중요하다(22-24).

최근에는 이런 진단적 검사뿐만 아니라 투시검사와 이를 이용한 중재적 시술 또한 현저히 증가 추세에 있다. 투시검사는 적당히 높은 관전압(80~100 kV)과 낮은 관전류(< 10 mA)를 이용하며, 반복적으로 노출되는 장시간의 피폭과 같은 신체 부위에 단시간 동안의 피폭이 이루어질 수 있기 때문에 확률적 영향(stochastic effect)과 결정적 영향 모두 나타날 수 있고 따라서 환자 개개인의 피폭량 측정과 저감화 방안이 중요시 된다(25). 중재적 시술에 의한 피부 손상이 여러 보고서를 통해 알려져 있으며 이에 International Commission on Radiological Protection에서 '중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방'이라는 간행물을 통해 투시에 의한 방사선 위험의 중요성과 예방을 위한 권고사항 등을 2000년에 발표하였고 중재적 시술에 의한 환자 피폭선량 평가에 대해 1990년대 중반부터 국내외에서 대규모 다기관 연구 등을 수행하여 중재적 시술에 의해 측정된 DAP 값과 유효선량 등을 측정하여 환자선량 권고량 마련을 위해 노력해 왔다(6-8, 26, 27).

대표적 중재적 시술인 TACE는 흔한 간암 재발로 인한 반복 시술로 인해 방사선 피폭에 대한 위험도가 높을 뿐 아니라 시술 이외에 CT를 통한 추적 관찰이 필요하므로 환자들의 방사선 피폭이 증가하게 된다(8). 최근 들어 다양한 임상 적응증에 따른 적절한 프로토콜이 마련됨에 따라 그에 따른 환자선량의 조사가 이루어지고 있으나, 아직까지 TACE를 시행한 환자에서 추적 관찰시 시행한 복부 CT의 환자선량 권고량은 마련되지 않았다(28). 따라서 우선적으로 방사선 피폭량에 대한 종합적인 관리가 필요하며, 환자 개개인마다 누적 방사선량을 기록하고 관찰해야 한다.

본 연구에서 CT 검사의 횟수는 환자별로 최소 1회부터 15번에 이르기까지 다양하였고, 총 유효선량 중 CT에 의한 유효선량 비율은 63.4%로 가장 높았다. CT가 임상적으로 광범위하게 사용되고 있는 검사이며, 이렇게 환자군에 따라 반복적으로 시행되는 경우가 많다는 점에서 의료용 방사선 피폭에 따르는 위험성을 인지하고 개인당 누적 피폭선량에 대한 조사가 절실하다. 2008년 식품의약품안전평가원에서 측정한 복부 팬텀을 이용한 환자선량은 DLP  $421 \pm 229.5$  mGy·cm, 유효선량은  $6.32 \pm 3.44$  mSv였고, 이를 이용하여 2009년 발표된 환자선량 권고량 가이드라인 값은 700 mGy·cm였다. 또한 2010년 우

리나라 12개 대학병원에서 조사한 환자선량은 일반 복부 CT에서 평균 539 mGy·cm, 3중시기 조영증강 CT에서는 평균 1227 mGy·cm였으며, 다른 연구에서는 전형적인 유효선량을 일반 복부 CT에서 8 mSv(3.5~25 mSv), 3중시기 조영증강 CT에서는 15 mSv로 보고하였다(29, 30). 본 연구에서는 1회의 CT 촬영에 의해 환자들이 피폭된 DLP 평균값은  $1070.6 \pm 272.8$  mGy·cm, 유효선량은 평균  $16.1 \pm 4.1$  mSv로 이는 간암 진단시나 TACE 후 추적관찰시에 3중시기 조영증강 CT를 사용하기 때문에 다른 연구와 비슷한 값을 보이지만 일반 복부 CT보다는 높은 값을 보인다.

TACE를 시행받은 환자에서 선량권고량 또한 정립되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서의 TACE의 1회당 평균 유효선량은  $18.4 \pm 8.5$  mSv로 나타났고 이는 국내에서 발표된 TACE의 1회당 평균 유효선량인 Lee 등(2)의  $18.43 \pm 6.63$  mSv와 비슷하였고, Chung (8)의  $25.43 \pm 19.13$  mSv보다는 낮은 수치를 보였다. 측정된 환자별 총 유효선량은 최소 4.3 mSv와 최대 198.1 mSv로서 46배의 차이를 보이고 있어 비교적 높은 표준편차를 보였다. 같은 TACE라 할지라도 환자에 따른 시술 세부내용과 난이도, 재발 여부에 따라 유효선량의 차이를 보일 수 있으며 시술자에 의해 결정되는 촬영 횟수와 투시 시간뿐만 아니라 장치의 프로토콜에 의해서도 차이를 보이므로, 숙련된 영상의학과 의사에 의해 적절한 시술이 시행되고 시술자가 시술 중 방사선 피폭에 대한 이해가 높아 방사선 피폭량을 줄이기 위해 노력을 할 경우 피폭량을 줄일 수 있는 여지가 있을 것이다. 이러한 피폭량의 감소노력은 이로 인한 암 발생 위험을 또한 줄일 수 있는 이점이 있다.

The seventh Biologic Effects of Ionizing Radiation report에 의하면 피폭받은 유효선량 10 mSv당 암 발생 위험도가 1000분의 1씩 증가하며 Griffey와 Sodickson (31)은 7.7년 동안 91 mSv를 받은 환자에서 암 발생 위험도가 1100분의 1 이상이라고 하였다(13). 반복되는 CT 검사로 100 mSv 이상의 유효선량을 받은 환자군에서 약 0.7%의 암 발생이 기대되며 측정된 100 mSv의 피폭이 백혈병을 제외한 모든 암의 사망률을 9.7% 증가시킨다는 보고들도 있다(32, 33). 본 연구에서 환자들은 평균 85주(51~102주)의 추적관찰 기간 동안에 총 유효선량은  $144.2 \pm 87.4$ (15.4~513.5) mSv로써 결코 방사선에 의한 암 발생 위험성을 무시할 수 없는 수치를 보였다. 앞의 연구들은 원폭생존자들 같은 고선량 방사선에 노출된 환자들의 암 발생률 등을 기초로 하고 있기 때문에 기본적인 위험도가 과대평가 되었을 수도 있으며 잠복기가 긴 암의 발생 위험도를 추정하기 위해서는 매우 긴 추적기간이 필요하다는 점에서 한계가 있을 수 있지만, 환자에서의 의료피폭이 법적 선량한도에서 제외가 된다는 점에

서 이렇게 적지 않은 의료피폭의 문제점을 인식하고 의료진들이 환자들의 방사선 피폭의 최소화해 노력해야 한다.

본 연구에서는 환자들의 평균 나이가 약 61세(36~80세)로 젊은 나이는 아니지만 환자군들의 특성상 반복적으로 영상의학적 시술 및 검사가 시행되는 경우가 흔하다는 점과 암 환자의 기대수명이 점점 늘어난다는 점을 고려하면 상당한 위험도를 지닌다고도 볼 수 있다. 총 565번의 CT 촬영과 262번의 TACE에서 방사선에 의한 피부장애는 보고되지 않았으며, 이는 환자들에게서 순간 최대 피부 입사량을 구하지는 않았으나 최대 유효선량이 각각 25 mSv와 56 mSv로써 결정적 영향을 줄 수 있는 유효선량 이하이기 때문이라고 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 우선 1) 대상환자군이 적고 환자마다 일반방사선 촬영횟수의 편차가 크고 외부병원에서 시행한 일반 방사선 검사결과를 포함하지 못했다는 점이 있으며, 또한 2) 열형광 선량계(thermoluminescent dosimeter)를 이용하여 신체부위별로 직접 방사선량을 측정하지 못하여 직접받은 유효선량을 얻지 못하여 이미 알려진 참고치를 이용하여 총 받은 유효선량을 얻었다는 점을 들 수 있겠다. 하지만 Bor 등(34)은 DAP값에 변 환계수를 곱하여 얻은 방사선량과 열형광 선량계로 직접 측정한 방사선량과 많은 차이가 없다고 보고하였고, CT에서의 DLP값도 실제 흡수된 방사선량을 추정할 수 있게 되어 있어 실제 값과 큰 차이가 없을 것으로 간주하였다(21, 22).

더욱이 영상의학 검사에서 환자에 대한 피폭선량을 표시하는 방법은 다양하지만 대부분 물리적 차원의 선질에 대해서만 고려된 선량이지만 본 연구에서는 환자에게서 실질적 영향을 평가하기 위해 생물학적 차원의 확률적 영향을 고려하여 조직 및 장기에 가중치를 주는 유효선량으로 표시하였다는 점에서 의의를 찾을 수 있겠다.

3) 또한 적은 환자군을 대상으로 하였으며 장기간 추적관찰을 하지 못한 점 또한 제한점이라 할 수 있다. 가능하다면 향후 더 많은 환자군을 대상으로 한 전향적인 연구와 장기적인 추적 관찰 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 의료기기의 발달로 영상의학적 진단과 방사선 중재적 치료가 증가되고 있는 국내 의료현실에서 특히 간암 환자에서의 방사선 피폭선량은 결코 간과할 수 없는 수치이며 방사선 피폭량을 줄이기 위해 종합적인 관리와 노력이 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. Lee W. Current status of medical radiation exposure and regulation efforts. *J Korean Med Assoc* 2011;54:1248-1252

2. Lee SY, Lim HS, Han MS. The Evaluation of patients' radiation dose during TACE of interventional radiology. *J Radiol Sci Technol* 2011;34:209-214
3. Health Insurance Review & Assessment Service. *2005 National health insurance statistical yearbook*. Seoul: Health Insurance Review & Assessment Service, 2006
4. ICRP. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP publication 60. Stockholm, Sweden: ICRP, 1991
5. ICRP. *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP publication 103. Stockholm, Sweden: ICRP, 2007
6. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP* 2000;30:7-67
7. Miller DL, Kwon D, Bonavia GH. Reference levels for patient radiation doses in interventional radiology: proposed initial values for U.S. practice. *Radiology* 2009;253:753-764
8. Chung JW; Korea Food & Drug Administration. *Evaluation of patient dose in interventional radiology*. Seoul: Korea Food & Drug Administration, 2007
9. Llovet JM, Bruix J. Systematic review of randomized trials for unresectable hepatocellular carcinoma: chemoembolization improves survival. *Hepatology* 2003;37:429-442
10. Jessen KA, Shrimpton PC, Geleijns J, Panzer W, Tosi G. Dosimetry for optimisation of patient protection in computed tomography. *Appl Radiat Isot* 1999;50:165-172
11. Compagnone G, Giampalma E, Domenichelli S, Renzulli M, Golfieri R. Calculation of conversion factors for effective dose for various interventional radiology procedures. *Med Phys* 2012;39:2491-2498
12. Wall BF, Hart D. Revised radiation doses for typical X-ray examinations. Report on a recent review of doses to patients from medical X-ray examinations in the UK by NRPB. National Radiological Protection Board. *Br J Radiol* 1997;70:437-439
13. National Research Council (US); Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2*. Washington DC: National Academies Press, 2006
14. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors:

- 1958-1998. *Radiat Res* 2007;168:1-64
15. International Agency for Research on Cancer. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Ionizing radiation: part 1. X- and gamma-radiation and neutrons*. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2000
  16. Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res* 2000; 154:178-186
  17. Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176:289-296
  18. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Effect of ionizing radiation: UNSCEAR 2006 report to the general assembly with scientific annexes*. Vienna: United Nations, 2006
  19. Valentin J. Low-dose extrapolation of radiation-related cancer risk. *Ann ICRP* 2005;35:1-140
  20. Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, Kim KP, Mahesh M, Gould R, et al. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch Intern Med* 2009; 169:2078-2086
  21. Jung SE; Korea Food & Drug Administration. *Evaluation study of patient radiation dose in CT*. Seoul: Korea Food & Drug Administration, 2008
  22. Park MY, Jung SE. CT radiation dose and radiation reduction strategies. *J Korean Med Assoc* 2011;54:1262-1268
  23. Hidajat N, Mäurer J, Schröder RJ, Nunnemann A, Wolf M, Pauli K, et al. Relationships between physical dose quantities and patient dose in CT. *Br J Radiol* 1999;72:556-561
  24. Kalender WA, Polacin A. Physical performance characteristics of spiral CT scanning. *Med Phys* 1991;18:910-915
  25. U.S. Food and Drug Administration. Safety Investigation of CT Brain Perfusion Scans [update 2010 Sep 11; accessed 2012 Sep 28]. Available from: <http://www.fda.gov/medicaldevices/safety/alertsandnotices/ucm185898.htm>
  26. Kang SJ; National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. *Guideline for optimization and justification of CT*. Cheongwon: Korea Food & Drug Administration, 2012
  27. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008;248:254-263
  28. Jeong WK. Radiation exposure and its reduction in the fluoroscopic examination and fluoroscopy-guided interventional radiology. *J Korean Med Assoc* 2011;54:1269-1276
  29. Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 2010;254:326-341
  30. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 177:3-11
  31. Griffey RT, Sodickson A. Cumulative radiation exposure and cancer risk estimates in emergency department patients undergoing repeat or multiple CT. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:887-892
  32. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, Prevedello LM, Nawfel RD, Hanson R, et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology* 2009;251:175-184
  33. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *BMJ* 2005;331:77
  34. Bor D, Sancak T, Olgar T, Elcim Y, Adanali A, Sanlidilek U, et al. Comparison of effective doses obtained from dose-area product and air kerma measurements in interventional radiology. *Br J Radiol* 2004;77:315-322

## 장기간 진단용 방사선 촬영검사를 받는 환자에서 누적 방사선 피폭에 대한 연구: 간암환자를 대상으로<sup>1</sup>

김정현<sup>2</sup> · 박 찬<sup>1</sup> · 송장현<sup>1</sup> · 김용태<sup>1</sup> · 임남열<sup>1</sup> · 장남규<sup>2</sup> · 김재규<sup>1</sup> · 강형근<sup>2</sup>

**목적:** 간암 환자가 진단 시점부터 일정 시점까지 영상의학적 검사와 치료시 받은 총 누적 방사선 피폭량을 평가해보고 환자가 받는 방사선 피폭량 경감의 필요성에 대해 알아보고자 하였다.

**대상과 방법:** 간세포 암으로 진단받고 간동맥색전술을 시행 받은 98명의 환자를 대상으로 하였다. 처음 진단시 시행한 CT와 추적관찰을 위해 시행한 CT, 한 번 또는 반복되는 간동맥화학색전술, 그리고 추적기간 중 시행한 일반방사선촬영의 횟수와 각각에서 피폭된 방사선량을 측정하였고, 이를 이용하여 환자 일인당 피폭 받은 총 유효선량을 계산하였다.

**결과:** 환자들에 대한 추적 관찰 기간은 약 85주(51~102주)였다. 촬영된 CT는 총 565회로 개인당 CT에 의한 총 피폭 유효선량은  $91.4 \pm 50.6(8.4 \sim 244.7)$  mSv였고, 시행한 간동맥화학색전술은 총 262회로 개인당 간동맥화학색전술에 의한 총 피폭 유효선량은  $49.2 \pm 44.7(5.3 \sim 47.6)$  mSv였다. 그리고 일반방사선촬영은 총 1679회 시행되었으며 개인당 일반방사선촬영에 의한 총 피폭 유효선량은  $3.6 \pm 4.7(0.02 \sim 22.04)$  mSv로써, 환자 개인당 총 누적 유효선량은  $144.2 \pm 87.4(15.4 \sim 513.5)$  mSv였다.

**결론:** 간동맥화학색전술을 시행하는 간암 환자들에서 방사선 피폭량은 무시할 수 없는 양이며 이에 적절한, 최소한의 방사선 피폭을 위해 관심과 노력이 필요할 것으로 생각된다.

<sup>1</sup>전남대학교병원 영상의학과, <sup>2</sup>화순전남대학교병원 영상의학과