Journal of Radiation Industry 12(3) : 249~254(2018)

ERCP 검사 시 방사선 피폭량과 암 위험도 분석

이 양 섭[1,*] · 서 대 건[1] · 조 재 환[2]

[1]서울아산병원 영상의학과, [2]안산대학교 방사선과

Analysis of Radiation Exposure and Cancer Risk of Patients during Therapeutic ERCP

Yang-Sub Lee[1,*], Dae-Keon Suh[1] and Jae-Hwan Cho[2]

[1]*Department of Radiology, Asan Medical Center, Republic of Korea*
[2]*Department of Radiological Technology, Ansan University, Republic of Korea*

Abstract - Therapeutic endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP) requires fluoroscopic and radiographic exposures, which impose radiation risks to patients. The aim of the study was to calculate radiation doses for patients and cancer risk for patients during procedures by department. In this study, a total of 288 patients (Male: 182, female: 106), conducted using a ERCP system from January to March of 2016, were analyzed. A total of 288 patients were eligible, regardless of gender, with an average age of 61.28±13.4 (19~91) years. The procedures were performed in the radiology department using a fluoroscopy X-ray machine (multidiagnost ELEVA FD). In study, fluoroscopy time, DAP (Dose area product) values, effective dose and cancer risk by department were measured. DAP measurements can be used to estimate an effective dose (ED) and cancer risk to patients undergoing ERCP. Mean fluoroscopy time of all departments was 7.05±7 min (0.4~71.2 min). LTS (liver transplantation & hepatobiliary surgery) had the highest fluoroscopy time with 10.58±7.93 min, and HBP (hepatobiliary pancreatic surgery) had the lowest fluoroscopy time with 3.38±1.93 min ($p<0.01$). Mean DAP values of all departments was 8.40±7.77 mGy·cm^2. LTS had the highest DAP value with 11.96±9.03 mGy·cm^2, and HBP had the lowest DAP value with 4.15±2.73 mGy·cm^2 ($p<0.01$). Mean effective dose of all departments was 0.68±0.63 mSv. LTS had the highest effective dose with 0.97±0.73 mSv, and HBP had the lowest effective dose with 0.34±0.22 mSv ($p<0.01$). Mean cancer risk of all departments was 1.007±0.006 time, and LTS had the highest cancer risk with 1.06 time ($p<0.01$). LTS had the highest cancer risk with 1.06 time but the risk is low in the approximate 1.0 times. Therapeutic ERCP procedure is beneficial to the patient, but may be necessary comprehensive management and efforts to reduce radiation dose.

Key words : DAP (Dose area product), ED effective dose, Radiation Dose, Cancer Risk, LTS (liver transplantation & hepatobiliary surgery), HBP (hepatobiliary pancreatic surgery)

서 론

내시경적 역행성 담췌관조영술(endoscopic retrograde cholangiopancreatography, ERCP)은 췌담도 질환에 대한 진

* Corresponding author: Yang Sub Lee, Tel. +82-10-5382-1821, Fax. +82-2-3010-6416, E-mail. subi1202@hanmail.net

단과 더불어 다양한 내시경적 시술이 개발되어 치료내시경술로 많은 의료기관에서 광범위하게 시행하고 있다. 이러한 배경은 방사선 영상진단 및 내시경 장비의 혁신적인 진보와 함께 치료내시경술이 더욱 발전하여 췌담도 질환의 치료에 있어 내시경을 이용한 비수술적 치료법이 더욱 더 중요한 역할을 하게 되었고, 과거에는 수술적 방법에만 의존하였던 많은 췌담도 질환들이 치료내시경술을 일차적인 치료법으로 선택하고 있다(Shim 2006). 또한, 최신 진단 기기의 발달과 치료 내시경 기술의 발전은 췌담도 검사의 특성에 따라 내과영역에서 이전보다 많은 검사와 중재적 시술을 시행하게 되었고, 특히, 의료용 방사선의 피폭은 지속적으로 증가하고 있고, 현재 인류가 받는 인공방사선 피폭 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다(ICRP 1990; Lee 2011; Lee *et al*. 2011).

의료용 방사선 피폭은 환자 개개인의 의학적인 상황에 따라 검사의 이득과 피폭의 위험성에 대해 평가해야 하므로 일률적인 선량한도를 둘 수 없고, 환자 자신에게 이득이 돌아온다고 보고 있어 의료용 방사선 피폭은 정당화되고 별다른 법률적 제재 또한 두고 있지 않다(Kim *et al*. 2013).

이에 따라 방사선 피폭량에 대한 정보와 그 위험도에 대한 정확한 인식의 필요성이 증가하고 있고, 피폭량을 최소화하기 위한 선량 계측 및 의료용 방사선 방어를 위한 연구가 활발하게 지속적으로 이루어지고 있다(Kim *et al*. 2011).

ICRP (International Commission on Radiological Protection)에서는 의료용 방사선 피폭을 저감화하기 위해서 환자 선량 권고량을 확립하여 각 나라에 권고하고 있고, 우리나라에서도 방사선 검사와 중재적 시술에서 환자가 받게 되는 피폭선량을 추정하여 환자선량 권고량 가이드라인을 마련하여 배포하였다(Valentin 2000; ICRP 2007).

내시경적 역행성 췌담도 조영술(ERCP)은 부가적으로 다양한 치료법을 적용하여 과거에는 개복수술을 적용했던 질환들을 내시경적 시술로 가능하여 검사가 증가하고 있다. 그러나 ERCP 시술 증례가 급속히 늘고 있는 추세이지만, 많은 내시경 의사들이 환자나 의료진의 방사선 피폭과 위험에 대한 지식이나 인식이 낮은 편이며 방사선 피폭을 줄이려는 노력도 부족한 실정이다(Kim *et al*. 2011; Son *et al*. 2011; Dumonceau 2012).

이러한 점에 비추어 볼 때 투시와 중재시술의 방사선 피폭은 오히려 CT에 의한 방사선 피해보다 심각할 수도 있다. 특히 투시방사선 피폭의 특징은 투시시간에 많이 좌우되며 투시시술자의 숙련도가 피폭의 중요한 요인이다(Sung 2011). 또한 ERCP는 일반적인 소화기내시경 검사에 비해 다소 어려운 검사로 시술하는 의사의 경험과 기술이 필요한 검사로서 다양한 환자의 질병 상태나 개개인의 해부학적인 차이 등에 의해서 시술 소요시간과 투시시간에 따라서 환자가 받는 방사선 피폭선량도 다양할 수 밖에 없다.

이러한 전리 방사선의 과다 피폭은 노출 후 인체 조직에 유해한 영향을 줄 수 있다. 미국 국립과학아카데미(National Academy of Sciences) 의 저선량 방사선의 생물학적 영향(health risks from exposure to low levels of ionizing radiation, BEIR VII) 보고서15에서는 암 발생 위험이 저선량에서도 문턱값(threshold) 없이 선형으로 올라가면 최소 선량에서도 인간에게 추가위험의 증가를 일으킬 잠재성이 있다는 문턱값이 없는 선형비례이론(linear-no threshold model : LNT)을 지지하고 있고, 현재는 대부분의 국제기구의 보고서에서 저선량 방사선에 의한 암과 유전적 장애는 잠재성이 있다고 하였다(IARC 2000; Preston *et al*. 2007).

이에 본 저자들은 진료과별로 ERCP 시술에 따른 방사선 피폭과 암 발생위험도에 대해서 알아보았다.

대상 및 방법

2016년 1월부터 3월까지 ERCP를 시행한 환자 중 치료내시경 시술을 시행한 환자 288건(남자 182명, 여자 106명)을 대상으로 하였다. 평균연령은 61.28±13.4세(19~91세) 였다. 투시장치는 Multidiagnost ELEVA FD (Philips, Netherlands)로서 C-arm type의 평판형 검출기(Flat panel detector)가 장착된 디지털 시스템이다. 환자의 선량 데이터는 X-선관 하우징에 내장된 면적선량계(dose area product meter)에서 면적선량(DAP)과 투시시간(FT : fluoroscopy time)이 측정되어 PACS로 전송되었다. 진료과별 환자의 시술은 조사기간 중 2건 이상을 시술한 5개과(Gastroenterology: GI, Liver Transplantation and Hepatobiliary surgery: LTS, Oncology: ONC, hepatobiliary and pancreatic surgery: HBP, Obstetrics and gynecology: OBY)로 분류하여 진료과별로 차이를 분석하였다. ERCP 시술에 따른 면적선량과 투시시간, 유효선량(ED : effective dose), 암 발생위험도(CR : cancer risk)를 산출하였다. 통계적인 분석은 SPSS (V. 18.0) 프로그램을 사용하였고, ANOVA test로 검정하여 데이터를 평가하였다.

결 과

전체 환자의 투시시간은 평균 7.06±7.01분이었다. LTS (10.58±7.93분)에서 가장 높았고, ONC (9.47±13.9분), OBGY (8.2분), GI (5.63±4.64분), HBP (3.38±1.93분) 순서로 나타났다. ONC에서 표준편차가 13.9분으로 가장 높았고, 전체 투시시간의 최소값과 최대값이 0.4~71.2분으로 매우 크게 나타났다($p<0.01$) 영상 획득을 위한 Spot radiography는 평균 5.27±3.27장이었고, 0~36장까지 편차가 크게 나타났다(Table 1).

Table 1. Fluoroscopy time and the number of spot radiography according to the department

Departments		N	Average	Standard deviation	P
Min	GI	187	5.63	4.64	0.000
	LTS	67	10.58	7.93	
	ONC	24	9.47	13.90	
	HBP	8	3.38	1.93	
	OBY	2	8.20	0.00	
	Sum	288	7.06	7.01	
Spot	GI	187	4.93	3.46	
	LTS	67	6.61	2.69	
	ONC	24	4.71	2.90	
	HBP	8	3.13	0.83	
	OBY	2	7.00	0.00	
	Sum	288	5.27	3.28	

Table 2. DAP values according to the department

Departments		N	Average	Standard deviation	P
DAP	GI	187	7.05	5.85	0.000
	LTS	67	11.96	9.03	
	ONC	24	10.74	13.29	
	HBP	8	4.15	2.73	
	OBY	2	5.34	0.00	
	Sum	288	8.41	7.77	

면적선량(DAP)은 평균 8.40±7.77 mGy·cm^{2}였고, LTS에서 11.96±9.03 mGy·cm^{2}으로 가장 높았고, HBP에서 4.15±2.73 mGy·cm^{2}으로 가장 낮게 나타났다. ONC에서 표준편차가 10.74±13.29 mGy·cm^{2}로 가장 높게 나타났고, 평균 면적선량의 최소값과 최대값은 0.32~65.09 mGy·cm^{2}로 선량의 차이가 크게 나타났다($p<0.01$) (Table 2).

유효선량(ED)은 평균 0.68±0.63 mSv 였고, LTS에서 0.97±0.73 mSv로 가장 높았고, HBP에서 0.34±0.22 mSv로 가장 낮게 나타났다($p<0.01$). 유효선량의 범위는 0.03~5.28 mSv로 편차가 크게 나타났고, ONC에서 가장 높게 나타났다(Table 3).

암 발생위험도(CR)는 평균 1.007±0.006이었고, LTS에서 1.01로 가장 높게 나타났다($p<0.01$). 최대값은 ONC에서 1.055로 가장 높게 나타났다. 하지만 1.0배 근사치에 있어 위험도는 낮다고 볼 수 있다(Table 4).

Table 3. ED values according to the department

Departments		N	Average	Standard deviation	P
ED	GI	187	0.57	0.47	0.000
	LTS	67	0.97	0.73	
	ONC	24	0.87	1.08	
	HBP	8	0.34	0.22	
	OBY	2	0.43	0.00	
	Sum	288	0.68	0.63	

Table 4. Cancer risk values according to the department

Departments		N	Average	Standard deviation	P
ED	GI	187	1.01	0.00	0.000
	LTS	67	1.01	0.01	
	ONC	24	1.01	0.01	
	HBP	8	1.00	0.00	
	OBY	2	1.01	0.00	
	Sum	288	1.01	0.01	

고 찰

최근 CT, MR, 중재적 시술 등 첨단 의료 장비의 발전으로 환자들의 질병을 조기에 발견하고 치료에 적용하고 있지만 투시 조영 검사는 감소하는 추세이다. 하지만 고령환자의 증가와 더불어 췌담도계 질환이 증가하여 내과의사가 직접 시행하는 ERCP 검사는 지속적으로 증가하고 있다. 과거에는 췌장과 담도 질환을 치료하기 위해서 개복 수술을 필요로 했지만 ERCP의 도입으로 환자에게 최소 침습적인 치료법을 제공하게 되어 ERCP는 소화기 영역에서 없어서는 안 될 분야가 되었다(Kang 2003).

ERCP 검사는 진단에도 이용되지만 담도나 췌장 질환의 비수술적 치료를 위해서 단일 또는 다중 스텐트 삽입, 복합적인 담관의 협착과 다발성의 췌담석, EUS-guided biliary drainage 등 다양한 시술만큼 합병증도 많이 발생할 수 있고, 때로는 출혈, 장천공과 같은 심각한 합병증이 발생할 수 있는 복잡한 시술이다.

Table 1에서 투시시간이 길어질수록 면적선량, 유효선량, 암 발생 위험도가 함께 증가하였고, 진료과별로 편차가 크게 나타났다. 투시시간은 평균 7.06±7.01분이었고, 면적선량은 평균 8.40±7.77 mGy·cm^{2}이였다. LTS와 ONC에서 각각 10.58±7.93분과 9.47±13.9분으로 투시시간이 가장 길게 나타났고, ONC에서 표준편차가 가장 크게 나타났다. 면적선량은 투시시간과 비례함을 알 수 있었다. Boix *et al*. (2011)은 ERCP 중 환자의 방사선 노출을 조사한 대부분의 연구 보고서에 따르면 환자의 방사선 노출 증가와 관련된 주요한 인자는 투시시간이라고 하였다. ALARA의 원칙에 따라 “as low as reasonably achievable” 모든 노력 방사선 피폭을 최소화하기 위해 투시시간을 제한해야 한다(Stecker *et al*. 2009). 투시시간은 방사선 피폭을 결정하는 중요한 요인으로 DAP와 비례하고, spot 촬영, pulse rate, X 선 튜브에서의 환자 거리, 비스듬한 이미징 사용, 확대와 환자 체질량지수, 내시경 기술이 포함된다(Rodríguez-Perálvarez *et al*. 2011). 또한 투시시간은 투시장비의 화질 저하나 투시에 의

존하는 경우에 투시시간은 길어지는 요인이 되기도 한다.

Tsapaki *et al*. (2011)은 DAP와 FT and film 획득 매수와는 상관 관계를 발견하지 못했다고 하였고(found no correlation between DAP and FT or total number of films taken), 저자의 논문에서도 상관관계를 발견하지는 못했다. 이러한 원인은 가능한 필요한 영상만 촬영하고 기타의 영상은 last hold image를 capture하는 방법으로 영상을 획득했기 때문이다.

LTS와 ONC에서 투시시간과 표준편차가 크게 나타난 원인은 ERCP 시술을 받는 환자의 다양하고 복합적인 병리적 측면과 치료를 위한 시술의 난이도와 관련이 있다. 특히 간이식이나 간담도 수술 후의 환자는 복잡한 담도와 혈관 구조를 정밀하게 연결하는 과정에서 간 절제연과 문합부의 담즙 유출과 담도 폐쇄, 혈관 폐쇄 등의 합병증이 호발한다(Marcos 2000). 이들 환자들은 일반적인 담석증을 치료하는 시술과 차이가 있다. 특히, 담도협착의 치료는 협착의 위치와 정도, 이식 받은 간기능과 환자 상태를 고려하여 결정되는데 수술보다 협착 부위를 풍선 확장술이나 배액관을 설치하여 장기간 유지하는 비수술적 방법을 이용하는데(Moser 2001), 협착된 부위를 치료하기 위한 시술이 매우 어렵기 때문이다.

특히, ONC에서 투시시간이 평균 13.9분이었고, 최소값과 최대값의 범위는 1.9~71.2분으로 편차가 매우 크게 나타났다. 면적선량은 평균 13.29 mGy·cm^2 였고, 최소값과 최대값은 1.56~65.09 mGy·cm^2 으로 편차가 매우 크게 나타났다. 또한, 인체 내 조직간 선량분포에 따른 위험 정도를 하나의 양으로 계산한 유효선량은 평균 0.68 mSv (0.03~5.28 mSv) 였고, LTS에서 0.97 mSv로 가장 높게 나타났다. ONC환자의 경우 영구적인 치료보다는 일시적으로 담즙의 원활한 배출을 목적으로 시술을 하는 경우가 많다. 간이식이나 간담도 수술 후 환자처럼 종양으로 인해서 담관이 협착이 심한 환자들이 많기 때문에 배액관(stent) 설치 등을 하기에는 어려운 점이 있기 때문에 시술시간과 투시시간이 많아지게 되어 방사선 피폭량이 많아지게 된다. 본 연구와 마찬가지로 이전 연구에서 투시 시간과 DAP간에 양의 선형 상관관계(positive linear correlation)가 관찰되었고, 치료를 위한 다양한 시술과 담도에 배액관을 설치하는 과정에서 DAP가 높아지는 것을 발견했다(Rodríguez-Perálvarez *et al*. 2011).

또한 아직 보편화되지 않은 새로운 시술을 적용하거나, 방사선 비전공자의 방사선에 대한 지식부족, 환자피폭에 대한 인식부족 등이 피폭선량이 많아지는 원인이 되기도 한다. 미국의 내시경 의사 중 일부 또는 소수의 내시경 전문가만이 방사선 방어와 투시 장비의 작동에 대한 공식적인 교육을 받기 때문에 진단 연구와 방사선을 이용한 치료 시술을 수행하는 전문분야를 포함한 내과의사 중에 방사선 피폭과 암 발생 위험에 대한 인식이 부족한 점과 방사선 장비의 발전, 기술적 고려 사항, 다양한 운영 방법 및 문화의 결과 때문일 수 있다(Monique *et al*. 2018). 저자의 경험상으로도 방사선학을 전공한 사람들을 제외하고 방사선 피폭에 대한 지식과 인식이 비슷할 것으로 생각한다. 방사선이 유전자에 도달하면 유전자를 구성하고 있는 원자 사이의 결합을 끊어버리는 유전자 손상(radiation induced DNA damage)을 일으킬 수 있고 노출된 방사선 양이 많은 세포의 기능 변화나 사멸 또는 암을 일으키는 유전자가 생성되어 암이 발생하게 된다. 진단을 위해서 의료계에서 사용되는 방사선은 대부분 100 mSv 이하의 저선량으로 일반적으로 결정적 영향(deterministic effects)이 나타날 수 없는 낮은 방사선을 말하며 의료용 방사선 피폭에서 현재까지 인체에 직접적으로 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 증명되어 있지 않다(IARC 2000; National Research Council 2006; Preston *et al*. 2007).

하지만 Preston (Preston *et al*. 2007)은 50 mSv의 낮은 방사선 피폭에 의해서도 암 발생 위험이 증가하고 50~150 mSv의 방사선 피폭을 받은 사람들의 암 사망률이 증가했다고 보고하였으며, 문턱값 없는 선형비례이론(linear-no threshold model)에 따르면 저선량에서도 선량에 비례하여 인간에게 장애의 발생확률을 증가시킬 수 있고 저선량 방사선에 의한 암의 발생에는 문턱값이 없다고 간주하고 있다(Valentin 2005).

BEIR VII (Biologic Effects of Ionizing Radiation) 보고서에 의하면 방사선 피폭에 따른 유효선량 10 mSv마다 암 발생 위험도가 1000분의 1씩 증가한다고 하였다(National Research Council 2006). Griffey와 Sodickson (2009)은 7.7년 동안 91 mSv를 받은 환자에서 암 발생 위험도가 110분의 1 이상이라고 하였다.

저자의 연구에서 암 발생위험도는 LTS에서 평균 1.01로 가장 높게 나타났지만 기준치인 1.0배 근사치에 있어 위험도는 낮게 나타났다. 하지만, ONC 에서 1.0~1.055 까지 편차가 높게 나타났다. ICRP (ICRP 2007)에 의해 권고 된 방사선 방호에 따르면 선량 100 mSv에 대한 선형 무 임계치(LNT) 모델을 사용하여 유도된 Sv당 −5%였다. 결과적으로, ERCP의 평생 암 발병 위험은 0.045%이다. 간 CT 검사에 따른 20 mSv 방사선에 피폭되었을 때 BEIR VII-Phase 2 보고를 근거로 위험을 산출하면 고형암과 백혈병의 평생 발생율과 그에 따른 사망률은 각각 0.148%, 0.09%로 추정하였다(Huda *et al*. 2008).

또한, 유럽 방사선 방호위원회(European Commission of radiological protection) (Mettler FA *et al*. 2009)의 자료를 이용하여 ERCP 시술에 따른 유효 선량 0.44 mSv를 적용할 경우 20 번의 흉번 촬영 시 받는 선량과 같고, 바륨 관장(barium enema)보다 약 14 배, 복부 CT에서 받는 선량보다 20 배 적었다.

본 연구에서는 환자들의 평균 나이가 약 61.28 (19~91세)였고 연령분포가 다양했는데, 환자들의 특성상 반복적인 therapeutic ERCP 시술뿐만 아니라 여러 가지 방사선 검사가 중복되는 경우가 많아서 피폭선량이 증가하고, 평균수명의 연장으로 기대수명이 점점 늘어난다는 점을 고려하면 암 발생위험도는 더욱 높아질 수 있다.

동일한 ERCP 시술이라 할지라도 환자의 세부적인 시술 내용이나 난이도에 따라 유효선량의 차이를 보일 수 있고, 촬영 횟수, 투시시간, 장치의 노후 정도 및 조작자의 노출조건 선택, 시술자의 숙련 정도에 따라서 편차가 달라질 수 있기 때문이다.

ICRP 2007권고(ICRP 2007)에는 "환자에 대한 의료용 피폭량을 제한할 경우 진단이나 치료의 효율성이 저감되어 환자에게 이로움보다 해로움을 더할 수 있으므로 피폭량을 권고하지 않는다. 그러므로 방사선을 사용하는 검사와 치료절차의 정당화와 방호의 최적화를 강조한다"고 하였다. ERCP 중 환자와 의료진에 대한 방사선 피폭은 다른 중재적 방사선 요법과 유사하게 ERCP 시술에 따른 치료 효과가 환자의 건강에 부정적인 영향을 미치지는 않지만 ERCP를 포함한 여러 방사선 절차의 누적 효과는 해로울 수 있고, 부분적으로 더 나은 장비와 시술 경험이 선량을 감소할 수 있다고 제안했다(Mettler FA *et al*. 2009).

하지만 therapeutic ERCP에 따른 피폭선량 자체가 많지 않고 외과적인 치료를 대신하는 시술임을 감안할 때 환자에게 유리하고 유용한 시술이라고 생각한다. 무엇보다도 적절한 시술과 방사선 피폭에 대한 이해 및 방사선 피폭량을 줄이기 위한 노력이 필요하다.

본 논문의 제한점은 조사기간이 짧아서 대상 환자의 표본수가 적은 것과 면적선량계가 설치된 1대의 장비를 대상으로 개인별로 누적선량을 산출하였고, ERCP 시술 1회당 피폭선량을 기준으로 평가한 점이다. 더 많은 대상 환자의 표본수를 확보하여 방사선 피폭과 관련한 다양한 변수요인을 통하여 비교분석 할 필요가 있다.

결 론

본 연구자의 병원에서 실시한 ERCP 시술 중 환자의 방사선 선량은 LTS 와 ONC에서 높게 나타났지만 다른 문헌에 보고된 것보다 낮게 나타났다. 암 발생위험도는 LTS에서 높게 나타났지만 1.0배 근사치에 있어서 위험도는 낮은 것으로 평가한다. 치료를 병행한 ERCP는 외과적인 치료를 대신하는 어려운 시술임을 감안할 때 환자에게 유리한 시술이지만 방사선 피폭량을 줄이기 위해 종합적인 관리를 위해서 지역 또는 국가별 데이터를 기반으로 한 진단참조준위(DRL)를 개발하여 환자의 불필요한 방사선 위험을 줄이고 피폭선량을 최적화 하기 위한 연구의 기초가 될 수 있기를 바란다.

참 고 문 헌

Boix J and Lorenzo-Zúñiga V. 2011. Radiation dose to patients during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *World J. Gastrointest Endosc*. **3**(7):140-144.

Dumonceau JM, Garcia-Fernandez FJ and Verdun FR. 2012. Radiation protection in digestive endoscopy: European Society of Digestive Endoscopy (ESGE) guideline. *Endoscopy*. **44**(4):408-421.

Griffey RT and Sodickson A. 2009. Cumulative radiation exposure and cancer risk estimates in emergency department patients undergoing repeat or multiple CT. *AJR Am. J. Roentgenol*. **192**(4):887-892.

Huda W, Ogden KM and Khorasani MR. 2008. Converting dose-length product to effective dose at CT. *Radiology*. **248**(3):995-1003.

ICRP. 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.

ICRP. 2007. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Stockholm, Sweden: ICRP.

International Agency for Research on Cancer. 2000. 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.

Kang DH. 2003. ERCP for Diagnosis and Therapy: The NIH State-of-the-Science Conference. *Korean J Pancreas Biliary Tract*. **8**(1):1-8.

Kim JH, Park Chan, Song JH, Kim YT, Yim NY, Chang NK, Kim JK and Kang HK. 2013. Cumulative Radiation Exposures during Diagnosis and Treatments with Diagnostic Radiology Tools: In Patient with Hepatocellular Carcinoma. *J. Korean Soc. Radiol*. **69**(3):243-250.

Kim YJ, Cho KB, Kim ES, Park KS, Jang BK, Chung WJ and Hwang JS. 2011. Efficacy of a self-designed protective lead shield in reduction of radiation exposure dose during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Korean J. Gastroenterol*. **57**(1):28-33.

Lee SY, Lim HS and Han MS. 2011. The Evaluation of patients' radiation dose during TACE of interventional radiology. *J. Radiol. Sci. Technol*. **34**(1):209-214.

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

Marcos A. 2000. Right-lobe living donor liver transplantation.

Liver Transpl. **6**(l):59-63.

Mettler FA, Bhargavan M, Faulkner K, Gilley DB, Gray JE, Ibbott GS, Lipoti JA, Mahesh M, McCrohan JL, Stabin MG, Thomadsen BR, Yoshizumi TT. 2009. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources-1950-2007. *Radiology*. **253**(2):520-531.

Monique T. Barakat,a Nirav C. Thosani,a Robert J. Huang, Abhishek Choudhary, Rajan Kochar, Shivangi Kothari, and Subhas Banerjee. 2018. Effects of a Brief Educational Program on Optimization of Fluoroscopy to Minimize Radiation Exposure During Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. **16**:550-557.

Moser MA and Wall WJ. 2001. Management of biliary problems after liver transplantation. *Liver Transpl*. **7**(l):46-52.

National Research Council (US). 2006. 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.

Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K and Kodama K. 2007. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat. Res*. **168**(1):1-64.

Rodríguez-Perlávarez ML, Miñano-Herrrero JA, Hervás-Molina AJ, Benítez-Cantero JM, García-Sánchez V, Naranjo-Rodríguez A, Pleguezuelo-Navarro M, Soler-Cantos Mdel M and de la Mata-García M. 2011. Radio induced cancer risk during ERCP. Is it a real clinical problem?. *Rev. Esp. Enferm. Dig*. **103**(4):191-195.

Shim CS. 2006. Recent Progress in Biliopancreatic Therapeutic Endoscopy. *Korean J Pancreas Biliary Tract*. **11**(1):29-43.

Son BK, Lee KT, Kim JS and Lee SO. 2011. Lack of radiation protection for endoscopists performing endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Korean J. Gastroenterol*. **58**(2):93-99.

Stecker MS, Balter S, Towbin RB, Miller DL, Vañó E, Bartal G, Angle JF, Chao CP, Cohen AM, Dixon RG, Gross K, Hartnell GG, Schueler B, Statler JD, de Baère T and Cardella JF. 2009. Guidelines for patient radiation dose management. *J. Vasc. Interv Radiol*. **20**(1):263-273.

Sung DW. 2001. Radiation exposure in diagnostic areas: issues and countermeasures. *J. Korean Med. Assoc*. **54**(12):1246-1247.

Tsapaki V, Paraskeva KD, Mathou N, Andrikopoulos E, Tentas P, Triantopoulou C and Karagiannis JA. 2011. Patient and endoscopist radiation doses during ERCP procedures. *Radiat. Prot. Dosimetry*. **147**(1-2): 111-113.

Valentin J. 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP*. **30**(2):7-67.

Valentin J. 2005. Low-dose extrapolation of radiation-related cancer risk. *Ann ICRP*. **35**(4):1-140.

Received: 7 July 2018
Revised: 18 August 2018
Revision accepted: 27 August 2018