

<원저>

인터벤션 시술 시 환자의 선량감소를 위한 3D 프린팅 재료의 적용성 평가

조용인

동남권원자력의학원 영상의학과

Feasibility of the 3D Printing Materials for Radiation Dose Reduction in Interventional Radiology

Cho Yong-In

Department of Radiology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center

Abstract Interventional radiology is performed under real-time fluoroscopy, and patients are exposed to a wide range of exposures for a long period of time depending on the examination and procedure. However, studies on radiation protection for patients during an intervention are insufficient. This study aims to evaluate the doses exposed during the intervention and the applicability of 3D printing materials. The organ dose for each intervention site was evaluated using a monte carlo simulation. Also, the dose reduction effect of the critical organs was calculated when using a shielding device using 3D printing materials. As a result, the organ dose distribution for each intervention site showed a lower dose distribution for organs located far from the x-ray tube. It was analyzed that the influence of scattered rays was higher in the superficial organs of the back of the human body where x-rays were incident. The dose reduction effect on the critical organ using the 3D printing shield showed the highest testis among the gonads, and in the case of other organs, the dose reduction effect gradually decreased in the order of the eye, thyroid, breast, and ovary. Accordingly, it is judged that the 3D printed shield will be sufficiently usable as a shielding device for the radiation protection of critical organs.

Key Words: Interventional radiology, Monte Carlo simulation, Critical organ, 3D Printing materials, Radiation shield

중심 단어: 인터벤션 시술, 몬테카를로 전산모사, 결정장기, 3D 프린팅 재료, 방사선 차폐

I. 서론

인터벤션 관련 기술개발에 따라 시술빈도가 증가되고 있으며, 이로 인한 환자의 방사선 피폭의 위험성 또한 동반하여 증가되고 있다[1]. 인터벤션 시술은 실시간 방사선 투시하에 이루어지며, 시술 종류에 따라 혈관조영검사까지 이루어지므로 일반적인 X선 검사에 비해 상당히 높은 방사선 피폭을 수반한다. 또한 같은 시술일지라도 시술의 난이도, 환자의 병변상태, 촬영조건, 시술자의 숙련도 등의 다양한 변수에 의해 환자는 광범위한 피폭선량을 나타낼 수 있다[2].

국제방사선보호위원회는 ICRP Publication 85를 통해 중

재적 의료절차에서의 환자 및 종사자의 방사선 상해의 예방을 위한 사항에 대해 권고하고 있다[3]. 이처럼 인터벤션 시술을 수행하는 피폭환경 내 방사선 방호는 필수적이며, 이에 따라 국내 식품의약품안전처에서도 중재적 시술 시 환자선량 저감화를 위한 방사선 방어 가이드라인을 개발하는 등 종사자와 환자의 방사선 피폭 저감화를 위해 지속적인 노력이 이뤄져 왔다[1,4]. 현재 일반적으로 인터벤션 시술 분야에서 사용되는 방사선 차폐기구는 종사자가 사용하는 방사선방어 앞치마(Apron), 갑상선보호대(Thyroid Protector), 납 안경(Lead glass)과 검사 장비에 부착된 납 커튼(lead curtain shield), 이동형 납 유리(Mobile lead glass) 등이 있다. 이

Corresponding author: Yong-In Cho, Department of Radiology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center, 40, Jwadong-gil, Jangan-eup, Gijang-gun, Busan, Republic of Korea / Tel: +82-51-720-5866 / E-mail: jyi1280@dirams.re.kr

Received 21 April 2020; Revised 12 May 2020; Accepted 04 June 2020

Copyright ©2020 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

리한 방사선 차폐기구는 환자 주변부에 위치한 종사자의 방호 목적으로, 방사선 발생장치에서 발생된 1차선 및 환자에 의한 2차 산란선을 방호하기 위해 사용되고 있다. 그러나, 환자의 경우 검사 및 시술에 따라 인체에 노출되는 피폭범위와 시술자의 숙련도에 따라 방사선에 대한 노출시간이 광범위하며, 의료피폭의 경우 선량한도를 두고 규제하지 않는 특성상 환자에 대한 부가적인 차폐나 선량에 대한 관리가 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 이처럼 인터벤션 시술에서 환자의 방사선 피폭선량의 증가는 결정적 또는 확률적 영향에 기인한 장애 요인으로 작용할 수 있으며, 불필요한 방사선 피폭 선량 저감을 위한 방사선 방호에 대한 노력이 필요하다.

이에 본 연구에서는 최근 의료분야에서 활용되고 있는 3D 프린팅 기술을 접목하여 인터벤션 시술 시 환자의 방사선 차폐기구로서의 적용 가능성을 평가하고자 몬테카를로 기법을 통한 전산모사를 수행하였다. 이를 통해 첫 번째로, 인터벤션 시술 시 환자의 인체 장기별 흡수선량 분포를 평가하고, 두 번째로, 3D 프린팅 재료를 이용한 방사선 차폐기구 사용 시 환자의 결정장기에 대한 선량감소효과를 산정하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 몬테카를로 전산모사

1) 혈관 조영 및 중재적 시술 장치

본 연구에서는 현재 사용되는 다양한 몬테카를로 코드 중 MCNPX(Ver. 2.5.0)을 이용하였다. 중재적 방사선 시술 장비에 대한 모의모사를 위해 Allura Xper FD-20(Philips medical, Eindhoven, Netherlands)를 이용하였으며, Table 1과 같이 장치의 기하학적 정보를 토대로 시술 테이블(table), X-ray tube, 검출기(detector)를 모의 모사했다[5].

2) Medical Internal Radiation Dose형 인체팬텀

인체가 방사선에 노출될 때 다양한 체내 조직에 대한 선량을 직접 측정하기 어렵다. 현재 대안적인 방법으로 인체와 유사한 구조를 갖는 모의 피폭체를 사용하거나 몬테칼로 코드를 이용한 계산법이 선량측정 방법으로 널리 쓰이고 있다[6]. 본 연구에서는 환자의 흡수선량에 대한 분석을 위해 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 개발한 Medical Internal Radiation Dose(MIRD)형 인체 혼성팬텀에 대해 모의 모사했다.

3) X선 스펙트럼

인터벤션 시술 시 방사선 발생장치에서 발생된 X선 스펙트럼을 획득하기 위해 Institute of Physics and Engineering in Medicine(IPEM)에서 개발한 SRS-78 프로그램을 이용하였다. Allura FD 20 장비의 C-arm Tube의 세부정보(Target : W, degree : 11°), 필터(0.5 mmCu) 등을 입력하여, 80 kVp 에너지에 대해 0.5 eV 간격으로 X선 스펙트럼을 획득하였으며, 이를 선원항으로 지정했다[Fig. 1].

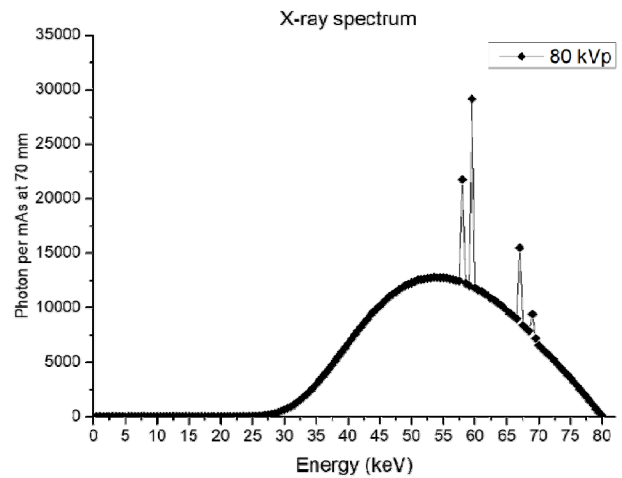


Fig. 1. 80 kVp photon spectrum by SRS-78

Table 1. Specifications of philips allura Xper FD20

Philips Allura Xper FD20 Tech Specifications	
Allura Xper FD-20 Gantry / Type	Single Plane
X-ray generator	High frequency
Allura Xper FD20 X-Ray Tube	Heat storage capacity: 5400000 HU
	Focal spot size - 0.4/0.7 mm (MRC)
	Target angle - 11 degrees
Allura Xper FD20 Detector	aSi detector with CsI scintillator
Patient Table	Dimensions - 40cm x 30cm
	Dimensions - 319 cm x 50 cm
Maximum patient load: 250 kg with additional 50 kg	

4) 3D 프린팅 차폐기구

인터벤션 시술 분야에서의 3D 프린팅 차폐기구 사용에 대한 적용성 평가를 위해, 현재 상용화된 FDM 필라멘트에 대해서 조사하였다. 현재 eSun 3D 프린팅 필라멘트(Shenzhen Esun Industrial Co., China)에서 상용화되어 FDM 방식의 3D 프린터에서 사용되는 PLA(Poly lactic acid)와 금속 필라멘트 혼합재료인 PLA+Aluminum(Al-40%), PLA+Copper(Cu-40%), PLA+Iron(Fe-40%), PLA+Stainless steel(40%)를 이용했다[7]. 또한 GMASS (Turner MedTech, W, Orem, United States of America)라는 고밀도 3D 프린터 필라멘트인 ABS+Bismuth(Bi-40%), ABS+Tungsten(W-40%)에 대한 정보를 참조하였다[8]. 본 연구에서는 3D 프린팅 재료에 대한 물성 정보를 토대로 인체 장기 중 방사선에 민감한 장기인 눈, 갑상선, 유방, 생식선 등을 방호하기 위해 두경부, 유방, 생식선에 대한 3가지 차폐기구에 대해 단순 모사했다 [Fig. 2].

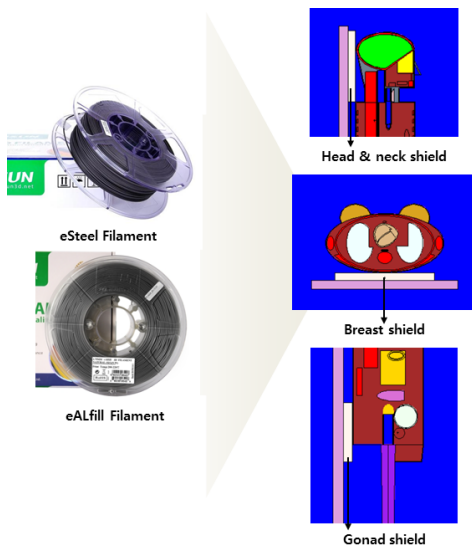


Fig. 2. Model of radiation shielding devices using 3D printing filaments

2. 실험방법

1) 시술 부위별 인체 장기에 대한 흡수선량 측정

인터벤션 시술 시 부위별로 노출되는 환자의 인체 장기에 대한 선량분포를 측정하기 위해 앞서 모사한 검사장치의 테이블 위에 환자 팬텀을 위치시켰다[Fig. 3(a)]. 시술 부위는 크게 두경부(Head & Neck), 흉부(Chest), 복부(Abdomen)로 구분하였으며, 검사 조건은 복부 시술 시 사용 조건을 고려하여 80 kVp, 20 mA로 고정하였고, 방사선 조사범위는

테이블 아래 X선 튜브의 중심에서 검출부 전체에 포함되도록 방사형으로 설정하였다. 시술 부위별로 분당 방사선 투시하에 노출되는 인체 장기별 흡수선량 분포를 평가하고자, 관심지점(Tally)는 유방(Breast), 폐(Lungs), 위(Stomach), 간(Liver), 식도(Esophagus), 갑상선(Thyroid), 정소(Testis), 대뇌(Brain), 신장(Kidney), 타액선(Salivary gland), 췌장(Pancreas), 전립선(Prostate), 자궁/경부(Uterus/Cervix), 난소(Ovaries), 눈(Eyes)에 대해 지정하였다. Tally Specification card는 f6 tally를 이용하였으며, 팬텀의 각 장기 내 흡수된 단위 질량당 축적된 에너지 분포(MeV/g)를 획득하였으며, 보정계수(Normalization factor)를 이용하여 흡수선량(mGy) 단위로 변환했다. 모의실험 내 반복횟수(nps)는 10⁸번 시행하였으며, 결과값에 대한 불확도는 3% 이내로 분석되었다.

2) 3D 프린팅 차폐기구 사용 시 인체 결정장기별 선량감소효과 평가

다양한 인체 장기 중 결정장기에 대한 방사선 방호를 위해 눈과 갑상선을 포함하고 있는 두경부, 유방, 생식선 등에 방사선 차폐기구를 Fig. 3[b]와 같이 환자와 시술 테이블 사이에 직육면체 크기로 단순 모사한 후 3D 프린팅 재료 및 두께(5, 10, 15, 20, 25 mm)에 따른 흡수선량을 평가하였다. 앞서 평가한 인체 장기별 흡수선량을 기준으로 각 장기별 선량감소효과를 산정하였다. 시술 범위에 포함되는 인체 결정장기에 대한 방사선 방호는 인터벤션 시술 시 방해요소로 작용될 수 있으므로, 시술 필드(field of view; FOV)에 포함되는 결정장기는 방호하지 않은 상태에서 선량평가를 수행하였다. 모사한 3D 프린팅 차폐기구에 대한 차폐효율에 대한 비교 분석을 위해 동일한 조건 내 현재 일반적인 차폐물질로 사용되는 납(Pb, density : 11.34 g/cm³)에 대한 추가적인 평가를 수행하였다.

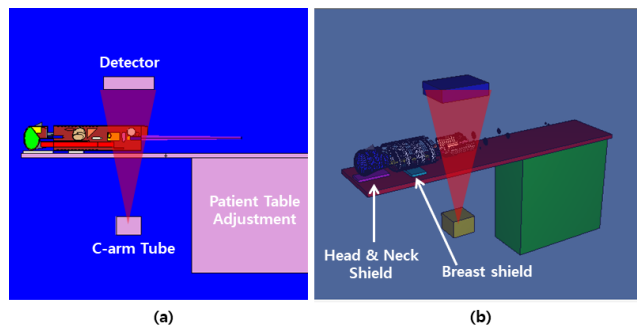


Fig. 3. 3D Printing shield (head & neck, breast) on radiation protection of critical organs during abdominal fluoroscopy. (a) 2D visualization (b) 3D visualization

Table 2. Absorbed dose distribution according to human organs during interventional procedure

Organs	Interventional Procedure		
	Head & Neck part	Thoracic part	Abdomen part
Breast	2.28	13.70	0.99
Lungs	15.79	84.46	7.64
Stomach	2.14	14.11	5.06
Liver	4.41	26.68	7.68
Esophagus	12.09	47.97	3.35
Thyroid	53.88	9.40	1.11
Testes	0.20	0.67	13.86
Brain	75.63	7.01	1.32
Kidney	11.76	46.80	34.07
Salivary gland	45.27	5.70	0.79
Pancreas	3.49	25.45	7.53
Prostate	0.49	2.16	46.35
Uterus/Cervix	0.91	3.47	52.82
Ovaries	1.25	4.87	62.06

III. 결 과

1. 시술 부위별 환자의 인체 장기별 흡수선량 분포

인터벤션 시술 시 방사선 투시 하에 노출되는 환자의 인체 장기별 흡수선량 분포를 측정하고자 몬테카를로 기법을 기반으로 한 전산모사를 수행하였으며, 각 시술 부위별로 평가한 장기별 흡수선량은 Table 2와 같다.

첫 번째, 방사선 투시 하에 분당 시술 부위에 따른 인체 장기별 흡수선량 분석 결과, 두경부 시술 시 방사선 조사 범위 내 포함되는 대뇌의 경우 75.63 mGy, 갑상선 53.88 mGy, 타액선 45.27 mGy, 눈 10.42 mGy의 흡수선량 분포를 보였다. 시술 시 관심 범위에 근접한 폐와 식도의 경우 각각 15.79 mGy, 12.09 mGy의 선량분포를 보였으며, 유방은 2.28 mGy로 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 상복부 장기인 간의 경우 4.41 mGy, 위는 2.14 mGy, 췌장 3.49 mGy의 흡수선량 분포를 나타내었으며, 후복막장기인 신장의 경우 11.76 mGy 다른 복부 장기 중 상당히 높은 선량분포를 보였다. 하복부에 위치한 자궁/경부의 경우 0.91 mGy, 난소 1.25 mGy, 전립선 0.49 mGy, 정소 0.20 mGy의 흡수선량 분포를 나타내었다.

두 번째, 흉부 시술 시 방사선 조사 범위 내 포함되는 폐의 경우 84.46 mGy, 식도 47.97 mGy, 유방 13.70 mGy의 흡수선량 분포를 보였다. 시술 시 관심 범위에 인접한 상복부 장기인 간의 경우 26.68 mGy, 위 14.11 mGy, 췌장 25.45 mGy의 선량분포를 보였으며, 신장은 46.80 mGy으로 상당히 높은 선량분포를 나타내었다. 두경부에 위치한 갑상선의 경우 9.40 mGy, 대뇌 7.01 mGy, 타액선 5.70

mGy, 눈 1.20 mGy 를 보였으며, 그 외 하복부 장기인 자궁/경부의 경우 3.47 mGy, 난소 4.87 mGy, 전립선 2.16 mGy, 정소 0.67 mGy 의 흡수선량 분포를 나타내었다.

세 번째, 복부 시술 시 방사선 조사 범위 내 포함되는 하복부 장기인 난소의 경우 62.06 mGy, 자궁/경부 52.82 mGy, 전립선 46.35 mGy, 신장 34.07 mGy, 정소 13.86 mGy의 흡수선량 분포를 나타내었다. 이에 비해 상복부 장기 중 신장의 경우 34.07 mGy, 간의 경우 7.67 mGy, 위 5.06 mGy, 췌장 7.53 mGy의 선량분포를 보였다. 시술 시 관심 범위에 근접한 폐의 경우 7.64 mGy, 식도 3.35 mGy, 유방 0.99 mGy의 흡수선량 분포를 나타내었으며, 그 외 두경부에 위치한 갑상선의 경우 1.11 mGy, 대뇌 1.32 mGy, 타액선 0.79 mGy, 눈 0.21 mGy의 선량분포를 보였다[Fig. 4].

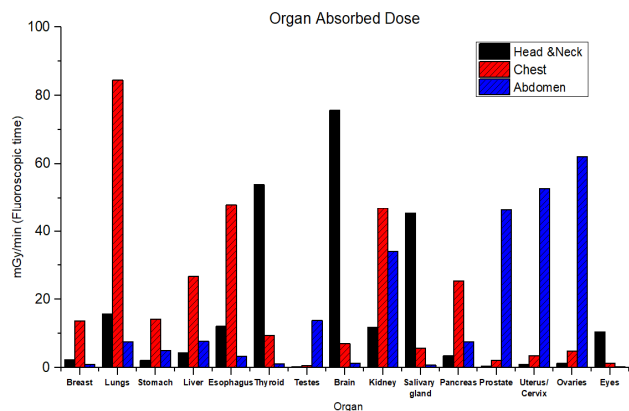


Fig. 4. Absorbed dose distribution according to human organs during interventional procedure (Unit : mGy/min)

2. 3D 프린팅 차폐기구 사용 시 주변 결정장기에 대한 선량감소효과

인터벤션 시술 시 노출되는 인체 장기별 흡수선량을 기준으로 3D 프린팅 재료 및 두께에 따른 선량감소효과를 산정하였다. 그 결과 첫 번째, 두경부 시술 시 3D 프린팅 차폐기구 사용에 따른 결정장기의 선량감소효과에 대한 평가 결과, 일반적인 FDM 방식에서 사용되는 PLA 재료의 경우, 유방에서 1.9 ~ 8.3%, 정소 5.2 ~ 27.9%로 가장 낮은 선량감소효과를 보였고, 난소에서는 -10.3 ~ -4.2%로 오히려 선량이 증가되는 경향을 나타내었다. 이에 비해 혼합재료 중 ABS+W의 경우, 유방에서 22.5 ~ 23.7%, 정소 24.7 ~ 49.0%, 난소 4.4 ~ 8.2%로 재료 중 가장 높은 선량감소효과를 보였다. 그 외 프린팅 재료에 대한 평가결과, ABS+Bi, PLA+SS, PLA+Cu, PLA+Fe, PLA+Al의 순서로 재료의 실효원자번호와 밀도에 비례하여 높은 선량감소효과를 나타내었다(Table 3).

흉부 시술 시 프린팅 차폐기구 사용에 따른 결정장기에 대한 선량감소효과 평가 결과, PLA 재료의 경우, 눈에서

7.5 ~ 23.2%, 갑상선 1.5 ~ 5.8%, 정소 5.0 ~ 23.1, 난소 0.6 ~ 2.9%로 가장 낮은 선량감소효과를 보였다. 이에 비해 혼합재료 중 ABS+W의 경우, 눈에서 27.3 ~ 50.3%, 갑상선 14.2 ~ 25.1%, 정소 48.0 ~ 68.1, 난소 8.9 ~ 25.3%로 가장 높은 선량감소효과를 보였다. 그 외 프린팅 재료에 대한 평가결과, 두경부 시술 시와 거의 유사한 경향을 보였으며, ABS+Bi, PLA+SS, PLA+Cu, PLA+Fe, PLA+Al 순서로 높은 선량감소효과를 나타내었다(Table 4).

복부 시술 시 프린팅 차폐기구 사용에 따른 결정장기에 대한 선량감소효과 평가 결과, 일반적인 FDM 방식인 PLA 재료의 경우 눈에서 -18.6 ~ 20.5%, 갑상선 -7.7 ~ 9.5%, 유방 3.4 ~ 9.6%로 낮은 두께에서 눈과 갑상선의 선량이 오히려 증가되는 경향을 보였으나, 이후 두께 증가에 따라 선량이 감소되는 양상을 띄었다. 이에 비해 혼합재료 중 ABS+W의 경우 눈에서 -4.0 ~ 26.5%, 갑상선 18.1 ~ 34.5%, 유방 21.0 ~ 34.9%로 가장 높은 선량감소효과를 보였다. 그러나, 눈의 경우 PLA 재료와 동일하게 낮은 두께에서는 오히려 선량이 증가되는 경향을 나타내었으나, 두께 증가에 따라 유의한 선량감소효과를 보였다. 그 외 프린팅

Table 3. Dose reduction effect according to thickness(5 ~ 25 mm) of 3D printing material during head & neck part interventional procedure

Shielding Materials	Critical Organs (Unit : %)		
	Breast	Testes	Ovaries
PLA	1.9 ~ 8.3	5.2 ~ 27.9	-10.3 ~ -4.2
PLA+Aluminum(Al)	3.8 ~ 12.6	9.3 ~ 39.7	-5.3 ~ -1.2
PLA+Copper(Cu)	15.6 ~ 22.0	23.9 ~ 49.0	3.7 ~ 5.8
PLA+Iron(Fe)	13.7 ~ 21.5	19.0 ~ 48.2	3.0 ~ 6.8
PLA+Stainless steel(SS)	18.0 ~ 22.5	23.9 ~ 49.0	3.6 ~ 7.1
ABS+Bismuth(Bi)	18.3 ~ 22.7	24.7 ~ 49.0	4.3 ~ 7.5
ABS+Tungsten(W)	19.8 ~ 23.1	24.7 ~ 49.0	4.4 ~ 8.2

PLA : Poly lactic acid

ABS : Acrylonitrile butadiene styrene

Table 4. Dose reduction effect according to thickness(5 ~ 25 mm) of 3D printing material during thoracic part interventional procedure

Shielding Materials	Critical Organs (Unit : %)			
	Eyes	Thyroid	Testes	Ovaries
PLA	7.5 ~ 23.2	1.5 ~ 5.8	5.0 ~ 23.1	0.6 ~ 2.9
PLA+Aluminum(Al)	3.7 ~ 37.6	2.6 ~ 17.9	3.8 ~ 45.2	-0.5 ~ 18.8
PLA+Copper(Cu)	20.9 ~ 49.3	11.9 ~ 24.7	33.7 ~ 65.4	6.8 ~ 25.1
PLA+Iron(Fe)	17.2 ~ 49.3	10.5 ~ 24.2	28.9 ~ 63.7	4.8 ~ 24.6
PLA+Stainless steel(SS)	24.3 ~ 50.3	13.6 ~ 24.9	38.3 ~ 66.7	8.2 ~ 25.4
ABS+Bismuth(Bi)	32.5 ~ 49.6	14.1 ~ 25.1	51.6 ~ 67.4	8.9 ~ 25.2
ABS+Tungsten(W)	27.3 ~ 50.3	14.2 ~ 25.1	48.0 ~ 68.1	8.9 ~ 25.3

PLA : Poly lactic acid

ABS : Acrylonitrile butadiene styrene

재료에 대한 평가결과, 두경부와 흉부 시술 시 평가결과와 유사한 경향을 보였다(Table 5).

위 결과에 따라서 인터벤션 시술 시 3D 프린팅 차폐기구 사용을 통한 결정장기에 대한 선량감소효과는 생식선 중 정소가 가장 높은 효과를 보였고, 그 외 장기의 경우 눈, 갑상선, 유방, 난소의 순서로 점차 선량감소효과가 낮아지는 결과를 나타내었다.

또한 3D 프린팅 재료에 대한 방사선 차폐효과에 대한 비

교를 위해 동일한 조건 내 납 5 mm 두께에서 추가적으로 비교한 결과, ABS+W의 경우 두경부 시술 시 결정 장기별로 납 대비 최소 81.2 ~ 최대 87.9%, 흉부 시술 시 최소 84.0 ~ 88.1%의 정도의 차폐효과를 나타내었다. 그러나, 복부 시술 시에는 눈의 경우 납 대비 -18.6%, 갑상선은 89.5%, 유방의 경우 111.8%으로, 눈의 경우 납이 우수한 차폐효과를 보였으나, 유방의 경우 더 높은 차폐효과를 나타내었다 [Fig. 5].

Table 5. Dose reduction effect according to thickness(5 ~ 25 mm) of 3D printing material during abdominal part interventional procedure

Shielding Materials	Critical Organs (Unit : %)		
	Eyes	Thyroid	Breast
PLA	-18.6 ~ 20.5	-7.7 ~ 9.5	3.4 ~ 9.6
PLA+Aluminum(Al)	-20.0 ~ 21.5	-3.1 ~ 15.2	2.5 ~ 15.0
PLA+Copper(Cu)	-8.5 ~ 26.8	14.5 ~ 26.8	17.8 ~ 22.9
PLA+Iron(Fe)	-7.3 ~ 26.4	16.7 ~ 27.5	16.2 ~ 23.5
PLA+Stainless steel(SS)	-5.7 ~ 27.9	16.7 ~ 29.5	19.3 ~ 24.1
ABS+Bismuth(Bi)	-4.8 ~ 26.5	18.0 ~ 34.4	20.1 ~ 34.9
ABS+Tungsten(W)	-4.0 ~ 26.5	18.1 ~ 34.5	21.0 ~ 34.9

PLA : Poly lactic acid

ABS : Acrylonitrile butadiene styrene

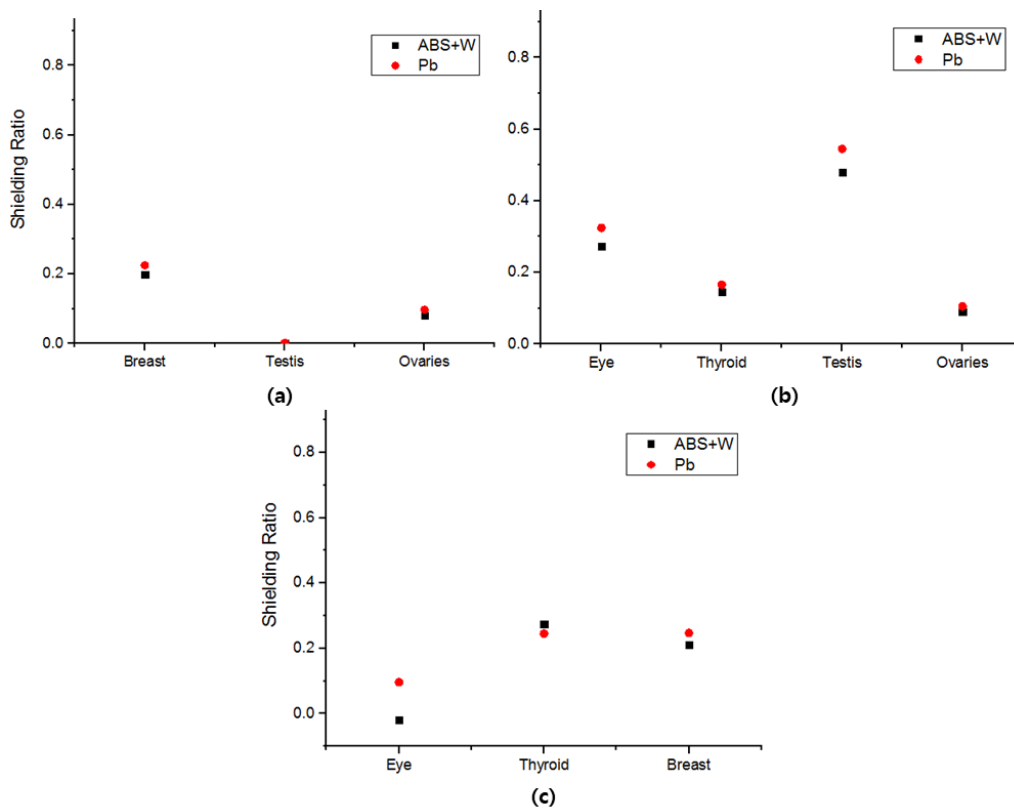


Fig. 5. Comparison of dose reduction effect according to shielding materials (ABS+W, Pb) during interventional procedure. (a) head & neck part, (b) thoracic part, (c) abdominal part

IV. 고 찰

뇌혈관, 심혈관, 말초혈관질환, 출혈 및 간암의 치료 등 시급을 요하는 질환에서 최소한의 침습적인 기술인 인터벤션 시술(Intervention Radiology; IR)의 빈도는 가파르게 증가하고 있다[9,10]. 그러나 방사선 투시 유도 하에 이루어지는 특성상 불가피한 방사선 피폭의 증가는 환자의 결정적 또는 확률적 장애를 일으킬 수 있는 위험 요인으로 작용할 수 있다[11]. 과거 인터벤션 분야 내 종사자에 대한 방사선 피폭에 관한 연구 등은 다양하게 이뤄져 왔지만[12], 현재 인터벤션 시술 시 수반되는 환자의 의료피폭은 진단 및 치료의 목적을 위한 정당성이 확보된다는 이유로 관리가 다소 소홀한 실정이다[13]. 이에 따라 현재 시술을 시행하는 의사 및 시술보조자는 환자에 대한 선량 수준을 명확히 인지하고 과도하게 노출되는 방사선 피폭을 최대한 줄이는 노력이 필요하다. 과거 연구에서는 인터벤션 시술 시 환자 선량에 대한 기준 권고안을 만들고자 하는 연구가 있었으나[14], 시술 시 환자의 피폭선량은 다양한 요인에 의해 정확하게 규정하기는 어렵다[15,16].

본 연구에서는 인터벤션 시술 시 방사선 투시 하에 노출되는 인체 장기에 대한 선량을 평가하고, 선량 저감화를 위한 3D 프린팅 차폐기구에 대한 적용성을 평가하고자 몬테카를로 전산모사를 수행하였다. 시술 부위에 따른 장기선량의 경우, X선 발생지점과의 거리가 원거리에 위치한 장기일수록 낮은 선량 분포를 나타내었으며, 이는 거리 역자승 법칙에 따른 결과일 것으로 생각된다. 또한 인체 후면부에 위치한 신장과 같은 장기 선량의 경우, 1차적으로 발생된 X선과 시술 테이블과 상호작용으로 발생된 2차적인 산란선의 의해 상대적으로 높은 선량분포를 나타낸 것으로 사료되며, 방사선이 입사되는 인체 후면부에 근접한 표재성 장기일수록 그 영향이 더 높은 것으로 분석되었다. 인터벤션 시술 시 환자의 결정장기에 대한 피폭선량 저감화를 위해 시술 범위 이외 3D 프린팅 차폐기구 사용에 따른 선량감소효과에 대한 분석 결과, 재료의 원자번호 및 밀도에 비례하여 높은 선량감소효과를 나타내었으며, 이는 광자와 물질과의 상호작용 비율이 증가된 요인으로 생각된다. 또한 기존에 사용되고 있는 납 차폐체의 추가적인 분석을 통해 ABS+W의 경우, 납 대비 최소 81% 이상의 선량감소효과를 나타내었으나, 원거리에 위치한 눈과 같은 장기에서 선량이 오히려 다소 증가되는 결과를 보였다. 이는 불규칙한 산란선 영향에 의한 것으로 생각되며, 적절한 차폐재료를 이용한 방사선 방호는 환자의 장기선량 저감화에 도움 될 수 있을 것으로 사료된다.

과거 백 등의 연구에서는 간동맥화학색전술에 대해 시술 범위 외 0.35 mSv 차폐체를 통해 생식선에서 48%, 좌측 수정체에서 86% 감소효과를 나타낸다는 보고가 있으며[17], 본 연구에서도 ABS+W 사용 시 생식선에서 그에 상응한 결과를 나타내었다. 이처럼 인터벤션 시술 시 방사선 투시 하에 선량을 줄이기 위해 차폐기구를 사용하는 것은 인체 장기별로 선량감소에 도움을 줄 수 있으나, 시술 부위 내 방사선 차폐기구가 포함되었을 경우, 검사 장비의 자동노출조절(Auto Exposure Control; AEC)을 통해 동일한 투시영상의 화질을 유지하기 위해, 관전압, 관전류 등이 증가되어 환자에게 더 많은 피폭선량을 수반할 수 있다. 이에 따라 임상적으로 시행되는 시술 종류에 따라 실시간 방사선 투시 및 혈관조영을 위한 검사 범위를 사전에 선정하고, 불필요하게 노출되는 환자 부위에 대해서는 산란선에 의한 주변 장기 피폭에 대한 영향을 인지하여야 할 것이다. 이를 감소시키기 위해 적절한 부위별 환자의 차폐기구 사용이 이뤄진다면 환자로 하여금 불필요한 의료피폭 최적화에 도움될 것이라 사료된다. 또한 환자의 피폭선량 저감화는 동시에 방사선 관계 종사자인 의사 및 시술보조자의 피폭선량을 저감할 수 있는 방안이므로 적극적인 방호를 위한 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

인터벤션 시술 시 인체 장기선량 분석을 통해 시술 부위에 따른 선량분포는 각기 다른 양상을 보였으며, 2차적인 산란선에 의해 시술 범위 이외 주변 표재성 장기에도 높은 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 또한 중재적 시술 시 3D 프린팅 재료를 이용한 차폐분석을 통해 ABS+W의 경우, 납 대비 최소 81% 이상의 감소효과를 나타내었으며, 시술 부위 주변 결정장기에 대한 선량 저감화를 위해 충분히 활용 가능할 것으로 사료된다. 이에 따라 의료분야 내 인터벤션 시술을 수행하는 시술자 및 시술보조자는 환자선량에 대해 간과해서는 안될 것이며, 최적화된 검사 조건의 사용뿐만 아니라 방사선 차폐를 통해 의료피폭을 최소화하기 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Food and Drug Safety. Radiation pro-

- tection guidelines to reduce patient dose in interventional procedures, Radiation Safety Management Series, No.36, 2014.
- [2] Park H, Kim YW, Jeon JS. Reference levels for patient Radiation Dose in interventional radiological procedures. Journal of the Korean Society of Radiology. 2012 Feb;6(1):11-7.
- [3] Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Annals of the ICRP. 2000;30(2):7-67.
- [4] Ministry of Food and Drug Safety. Radiation protection guidelines following interventional radiation procedures. Radiation Safety Management Series, No.11, 2006.
- [5] Kim JH, Cho YI. Dose assessment of the eye of the operator in the field of angiography and interventional radiography. Journal of the Korean Society of Radiology. 2018 April;12(2):209-16.
- [6] Lim YK. Assessment of occupational dose to the staff of interventional radiology using monte carlo simulations. Journal of Radiation Protection. 2014 Dec;39(4):213-7.
- [7] https://plabs.co.kr/board/free/read.html?no=522&board_no=7
- [8] Ceh J, Youd T, Mastrovich Z, Peterson C, Khan S, Sasser TA, et al. Bismuth infusion of ABS enables additive manufacturing of complex radiological phantoms and shielding equipment. Sensors. 2017 Feb;17(3):459.
- [9] Ministry of Food and Drug Safety. Interventional radiation treatment device performance evaluation technical information. Radiation Safety Management Series, No.11, 2011.
- [10] Kim JH, Kim JS, Kim TI, Kim YE, Kim CM. A study on the annual cumulative radiation exposure of patients undergoing transhepatic artery chemoembolization (TACE). Journal of Korean Society of Cardio-Vascular Interventional Technology. 2015; 18(1):69-76.
- [11] 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 Jan;254(2):326-41.
- [12] Schueler BA, Vrieze TJ, Bjarnason H, Stanson AW. An investigation of operator exposure in interventional radiology. Radiographics. 2006;26(5):1533-41.
- [13] Kang BS, Yoon YS. Evaluation of patient radiation doses using DAP meter in interventional radiology procedures. Journal of Radiological Science and Technology. 2017;40(1):27-34.
- [14] Park HS, Lim CH, Kang BS, You IG, Jung HR. A study on the evaluation of patient dose in interventional radiology. Journal of Radiological Science and Technology. 2012;35(4):299-308.
- [15] Jung WK. Radiation exposure and its reduction in the fluoroscopic examination and fluoroscopy-guided interventional radiology. Journal of Korean Medical Association. 2011 Dec;54(12):1269-76.
- [16] Rehani MM, Ciraj-Bjelac O, Vano E, Miller DL, Walsh S, Giordano BD, et. al. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. Annals of the ICRP. 2010;40(6):1-102.
- [17] Paek SM, Kim HJ, Yu BK, Ha ES, Park JY, Jo YG. A study on the reduction of exposure dose by shielding the major organs of patients in interventional procedures (TACE). Journal of Korean Society of Cardio-vascular Interventional Technology. 2012 June;15(1):103-9.

구분	성명	소속	직위
제1저자, 교신저자	조용인	동남권원자력의학원 영상의학과	방사선사