

<원저>

중재적 방사선시술에서 부가 차폐체 사용 시 종사자의 산란선 피폭 감소효과

김민준¹⁾·백강남^{2,3)}·김성철^{1,2)}¹⁾가천대학교 방사선학과·²⁾가천대학교 보건대학원·³⁾인하대학교병원 영상의학과

Effect of Reducing Scattering Radiation Exposure of Medical Staffs When Additional Shielding is Used in Interventional Radiology

Min-Jun Kim¹⁾·Kang-Nam Baek^{2,3)}·Sungchul Kim^{1,2)}¹⁾Dept. of Radiological Science, Gachon University²⁾Gachon University Graduate School of Health Science³⁾Dept. of Radiology, Inha University Hospital

Abstract This article is designed to look into the radiation exposure dose to each body part and the shielding effect for workers using an additional shielding to reduce their radiation exposed by scattering radiation which is generated in a space between the operating table and lead curtain during interventional radiology(IR) procedures. After placing a human phantom on the table of SIEMENS' angiography machine, the following measurements were taken, depending on the presence of an additional shield of lead equivalent of 0.25 mmPb, manufactured for this purpose: dose to gonad, dose to an area where the personal dosimeter is placed, and dose to an area of eye lens is located. An ion chamber(chamber volume 1,800 cc) was utilized to measure scattering radiation. The two imaging tests were carried out as follows: fluoroscopy of the abdomen (66 kV, 100 mA, 60 seconds) and of the head (70 kV, 65 mA, 60 seconds); and digital subtraction angiography(DSA) of the abdomen (67 kV, 264 mA, 20 seconds) and of the head (79 kV, 300 mA, 20 seconds). In all the experiments, the shielding efficiency of the gonad position was the largest at 59.8%. In case an additional shielding was used as protection against scattering radiation that came through the operating table and the lead curtain during an IR, the radiation shielding efficiency was estimated to be up to 59.8%, leading to a conclusion that its presence may effectively reduce the radiation exposure dose of medical staffs.

Key Words : Interventional Radiology, Scattering radiation, Additional shielding, Digital subtraction angiography, Fluoroscopy

중심 단어 : 중재적 방사선 시술, 산란선, 부가 차폐체, 디지털혈관조영술, 투시검사

1. 서론

방사선 과학이 발전함에 따라 다양한 방사선을 이용하는 장비 또한 발전하게 되었고 중재적 방사선시술(Interventional Radiology; IR) 시 사용되는 C-arm 장비도 발전하게 되었다. 위와 같은 발전들을 통해 IR의 횡수는 자연스럽게 증가하게 되었으며[1], 방사선 기계의 발전 덕분에 피폭선량 또

한 많이 감소했다. 하지만 여전히 종사자 및 시술 보조자들의 피폭은 존재하고 있으며, 시술 횡수의 증가에 따라 피폭 또한 증가하고 있는 것이 현실이다. 방사선 작업종사자의 피폭을 최소화시키기 위해 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)에서는 ICRP Publication 85(2000년 9월)을 통해 중재적 의료 절차에서 방사선 장해의 예방에 대하여 권고했다[2]. 우리나라

Corresponding author: Sungchul Kim, Department of Radiological Science, Gachon University, 191, Hambakmoe-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 21936, Republic of Korea / Tel: +82-32-820-4364 / E-mail: ksc@gachon.ac.kr

Received 29 November 2021; Revised 11 December 2021; Accepted 27 December 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

라에서도 2014년 식품의약품 안전처에서 중재적 방사선 기술에서 환자선량 저감을 위한 방사선방어 가이드라인을 제시하여 환자선량의 참고준위를 제시하기도 하였다[3]. 이러한 노력에도 불구하고 중재적 기술 시에는 환자 및 방사선 작업종사자와 보조자들은 어느 정도 피폭을 당하게 된다[4]. IR 시 기술 장비의 특성상 X-ray Tube는 환자가 누워있는 테이블 아래에 위치하게 되며, 이때 테이블 하단 X-ray Tube에서 산란선이 발생하게 된다. 발생하는 산란선을 차폐하기 위해 환자 테이블에는 납 커튼이 부착되어 있으나 환자가 누워있는 테이블과 납 커튼 사이에는 많은 공간이 존재한다[5]. 그 공간 사이로 발생하는 산란선에 노출되어 방사선 작업종사자들은 피폭이 되고 있다. 또한, 비혈관계 기술 및 환자와 밀착하게 되는 혈관계 기술의 경우에도 피폭을 받게 된다[6,7].

본 연구에서는 IR 시 X-ray Tube와 환자가 누워있는 환자 테이블 아래쪽에서 발생하는 산란선에 의한 피폭선량을 최대한 차폐하기 위하여 폐기된 납 에이프런을 이용해 제작한 부가 차폐체를 환자 테이블과 종사자 사이에 빈 공간이 존재하는 곳에 위치시킨 후 부가 차폐체를 사용하기 전, 후의 종사자의 선량을 측정하여 부가 차폐체가 산란선 차단에 효과가 있는지 알아보려고 하였다.

II. 장비 및 실험방법

1. 실험 장비

Siemens 중재기술 X선장치 (Model : Artis zee PURE, Germany)를 이용했으며, 피사체는 인체 팬텀 (CTU-41, Kyoto Kagaku, Japan)을 사용했다.

산란선 측정은 챔버용량이 1,800 cc 인 이온챔버(Model :2026C, Radcal co.)를 교정한 후 실험에 사용하였다. 부가 차폐체는 납당량 0.25 mmPb의 납 에이프런을 이용하여 자체 제작하여 사용하였다.

2. 실험 방법

A병원에서 성인 남성 기준으로 실제 기술이 이루어지는 조건인 테이블 높이는 90 cm로 고정하였으며, X선관을 테이블 아래쪽에 위치시킨 후 초점-영상수신체간 거리는 120 cm, X선조사면적은 디텍터 크기인 42 cm × 42 cm으로 하였다. 팬텀을 테이블에 위치시킨 후 혈관촬영실에서 주로 기술하는 부위인 머리와 복부기술 프로토콜을 이용하여 실

험하였으며, 실험 관전압, 관전류는 A병원 성인 남성 검사 조건으로 측정하였다(Fig. 1).

산란선 측정은 종사자의 생식선 위치, 개인선량계 착용 위치, 수정체 위치[6]인 90 cm, 120 cm, 160 cm의 높이에서 납 앞치마 등의 차폐용구를 착용하지 않았을 때의 선량 측정위치를 기준으로 측정하였으며, 투시검사와 디지털혈관조영술(Digital Subtraction Angiography; DSA)시에 부가 차폐체의 사용 여부에 따른 선량을 측정 후 R-rad 변환계수를 적용하여 흡수선량으로 계산했으며, 부가 차폐체의 차폐율은 식 (1)을 기준으로 계산하였다[8].

$$\text{차폐율} = \frac{I_o - I_p}{I_o} \times 100 (\%) \quad \text{Eq. (1)}$$

단, I_o 는 차폐체 사용 전 측정선량
 I_p 는 차폐체 사용 후 측정선량

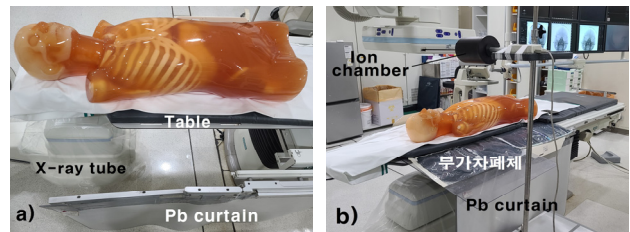


Fig. 1. a) Space where scattering radiation is generated between the table and lead curtain during IR, b) Measurements of scattering radiation with additional shielding in place

1) 투시검사부가 차폐체 유무에 따른 종사자 선량

복부 투시검사의 조건은 66 kV, 100 mA의 조건으로 15 pulse/s와 3 pulse/s에서 측정하였으며, 두부 투시검사의 조건은 70 kV, 65 mA 조건에서 15 pulse/s, 3 pulse/s의 산란선을 측정하였다. 선량계가 충분히 반응하도록 60초 동안 측정하였고, 실험의 정확성을 위해서 각각 3회씩 측정하여 평균값을 구하였다.

2) 디지털혈관조영술 시 부가 차폐체 유무에 따른 종사자 선량

DSA 검사 시의 부가 차폐체의 산란선 차폐성을 알아보기 위해서 복부검사 시에는 67 kV, 264 mA의 조건으로, 두부검사 시에는 79 kV, 300 mA에서 실험하였다. 두 검사부위 모두 4 frame/s의 DSA조건으로 20초 동안 측정하였고, 각각 3회씩 측정하여 평균값을 구하였다.

III. 결과

1. 투시검사 시 부가 차폐체 유무에 따른 종사자 선량 및 차폐율

복부 및 두부 투시검사 모두에서 종사자의 피폭선량은 생식선 위치에서 가장 높게 측정되었다. 15 pulse/s 검사 시에 부가 차폐체가 없는 경우 생식선 위치에서의 종사자 선량은 복부 투시검사에서 1.53 mGy, 두부 검사에서는 1.83 mGy로 복부검사보다 두부검사 시의 종사자의 피폭선량이 높게 나타났으며, 다른 부위에서도 동일한 결과가 나타났다. 복부 투시검사 시 3 pulse/s에서 부가 차폐체 사용 시 차폐율은 생식선 위치에서 56.2%, 개인선량계 위치에서 40.0%의 차폐율을 보였다. 또한, 15 pulse/s에서도 생식선 위치에서 56.2%로 가장 높은 차폐율이 나타났다. 두부 투시검사 시에도 부가 차폐체 사용에 따른 차폐율은 15 pulse/s 검사 시 생식선 위치에서 45.9%로 가장 차폐 효율이 높게 나타났다 (Table 1).

2. 디지털혈관조영술 시 부가 차폐체 유무에 따른 종사자 선량 및 차폐율

DSA검사에서 복부 및 두부 검사 시 모두에서 종사자의 피폭선량은 생식선 위치에서의 가장 높게 나타났으며, 종사자의 모든 선량값은 복부검사의 경우보다 두부검사 시 약 2배 더 높게 나타났다. 부가 차폐체를 사용한 경우 복부검사 시에 종사자 생식선 위치, 개인선량계 착용 위치, 수정체 위치에서의 차폐율은 각각 59.8%, 38.5%, 4.7%로 생식선 위치에서의 차폐율이 가장 높게 나타났다. 두부 검사에서도 비슷한 결과를 보였다(Table 2).

IV. 고찰

윤 등[9]에 의하면 병원 방사선 작업종사자 중 피폭선량이 가장 많은 분야가 심혈관조영실이라고 보고하고 있다. 중재적 방사선시술은 시술하는 동안 종사자가 환자 옆에서

Table 1. Absorbed dose of medical staff depending on whether additional shielding is used during fluoroscopy (Unit: mGy)

		Gonad position	Personal dosimeter position	Eye lens position
Abdomen	3 pulse/s	Not shielding	0.32 ± 0.015	0.20 ± 0.005
		Additional shielding	0.14 ± 0.004	0.12 ± 0.006
		Shielding efficiency(%)	56.2	40.0
	15 pulse/s	Not shielding	1.53 ± 0.023	0.95 ± 0.021
		Additional shielding	0.67 ± 0.017	0.59 ± 0.031
		Shielding efficiency(%)	56.2	37.9
Skull	3 pulse/s	Not shielding	0.37 ± 0.017	0.28 ± 0.003
		Additional shielding	0.22 ± 0.002	0.19 ± 0.003
		Shielding efficiency(%)	40.5	32.1
	15 pulse/s	Not shielding	1.83 ± 0.442	1.34 ± 0.168
		Additional shielding	0.99 ± 0.026	0.97 ± 0.012
		Shielding efficiency(%)	45.9	27.6

Table 2. Absorbed dose of medical staff depending on whether additional shielding is used during DSA (Unit: mGy)

		Gonad position	Personal dosimeter position	Eye lens position
Abdomen	Not shielding	5.18 ± 0.252	3.01 ± 0.682	1.28 ± 0.069
	Additional shielding	2.08 ± 0.163	1.85 ± 0.288	1.22 ± 0.131
	Shielding efficiency (%)	59.8	38.5	4.7
Skull	Not shielding	10.94 ± 0.907	6.63 ± 0.569	4.17 ± 0.781
	Additional shielding	5.44 ± 0.351	5.78 ± 0.823	3.78 ± 0.451
	Shielding efficiency (%)	50.3	12.8	9.4

투시검사를 하면서 시술을 하는 특성 때문에 지속적인 방사선 피폭을 받기 때문이다. 이에 환자 테이블과 납 커튼 사이의 공간에서 나오는 누설선량을 차폐하여 종사자의 불필요한 방사선피폭을 최소화하려고 실험을 하였다[5].

종사자의 선량측정 위치에 따른 산란 선량은 환자및, 환자 테이블 공간과 가장 가까운 생식선 위치에서 가장 많았고, 수정체 위치에서 가장 낮게 나타나 Nowak 등[10,11]의 연구와 비슷한 결과를 보였으며, 그 이유는 생식선 위치에서는 테이블과 납 커튼 사이의 공간으로 투과되는 산란선이 많지만, 수정체 위치에서는 팬텀을 통과한 저에너지 산란선이 거리에 의한 감약 등[12]에 의한 영향으로 산란 선량이 가장 작게 나타난 것으로 사료된다. 투시검사 시 pulse/s에 따른 선량 변화는 부가 차폐체 사용에 상관없이 pulse/s에 비례하게 감소하여 김 등[13]의 연구결과와 비슷한 경향을 나타냈다.

복부검사 시 두부검사 때보다 피사체 두께가 두꺼워지기 때문에 산란선이 더욱 많이 발생하지만[13], 투시검사 및 DSA 검사 모든 경우에서 두부검사의 경우에 종사자의 피폭 선량이 높게 나타났으며, 특히 DSA 검사 시에는 부가 차폐체 사용 여부에 상관없이 약 2배 정도 높게 나타났다. 하지만 차폐체 사용 시 차폐율은 투시검사 시 (15 pulse/s) 생식선위치에서 복부는 56.2%, 두부는 45.9%, DSA 검사 시 생식선 위치에서 복부는 59.8%, 두부는 50.3%로 두부에서의 차폐율이 더 낮게 나타났다. 그 이유는 고에너지의 산란선이 장치의 구조물에 의한 흡수 없이 테이블과 납 커튼의 공간이 큰 머리쪽 부분에서 많이 투과한 원인으로 사료된다.

복부시술로서 가장 빈번히 이루어지는 경동맥 화학 색전술(Transarterial Chemoembolization; TACE)의 경우 보통 투시시간(15 pulse/s)이 약 20분이라[15] 가정하였을 때 차폐체가 없을 시 생식선 위치에 30.6 mGy의 선량이 생식선에 노출될 수 있으며, 부가 차폐체를 사용하면 생식선의 흡수선량을 13.4 mGy로 절반 이상 선량 감소 효과를 나타내었으며, 차폐체의 두께 증가에 따른 영향도 여러 연구를 통해 알 수 있다[6,16].

본 연구의 제한점으로는 종사자의 위치에서만 선량을 측정하였기 때문에 주변에 있는 시술보조자에게 미치는 선량 감소를 측정하지 못한 점과 다양한 프로토콜을 사용하지 못하고 두부와 복부시술시의 프로토콜만 사용했으며, 선량을 3회씩만 측정한 것에 따른 신뢰성을 높이는데 제한적이었던 점이다. 하지만 간단한 부가 차폐체를 통해 종사자의 피폭선량을 많이 감소시킬 수 있다는 것은 중요한 결과로 볼 수 있을 것이다. 추후 부가 차폐체 사용에 따른 시술의 제한요건 조사 및 부가 차폐체 납 당량 변화에 따른 차폐 효과

등에 관한 연구가 이루어진다면 진단검사영역에서 종사자의 피폭이 많이 발생하는 IR 검사 영역의 피폭선량 저감에 중요한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

V. 결론

혈관촬영실에는 테이블 납 커튼과 천정형 차폐체가 존재하지만 시술 중 불편하다는 이유로 시술시 잘 사용하지 않고 있는 실정이며, 사용하더라도 납 커튼과 시술용 테이블 사이로 새어나오는 산란선에 대한 방호가 제대로 이루어지지 않아 종사자 및 시술보조자나 다른 방사선 관계종사자 또한 테이블 사이로 새어나오는 산란선에 노출 되고 있는 실정이다. 테이블과 납 커튼 사이의 공간을 버려지는 납 가운 등을 이용하여 자체 제작한 부가 차폐체로 차폐할 경우 방사선에 민감한 생식선 부위에 대한 차폐효과가 우수한 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] 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. *The British Journal of Radiology*. 2004;77(916):315-22.
- [2] ICRP Publication 85. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures; 2000.
- [3] Radiation Protection Guidelines for Patient Dose Reduction in Interventional Radiation Procedures. Ministry of food and drug safety. 2014. [cited 2021 November 20]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/down.do?brd_id=data0011&seq=12392&data_tp=A&file_seq=1
- [4] Miller DL. Society for Interventional Radiology. Interventional fluoroscopy: Reducing radiation risks for patients and staff. *J Vasc Interv Radiol*. 2009;20(7):S274.
- [5] Artschan RE, Brettle DS, Chase K, Fender A, Howells PG, Buchan S. An investigation of the radiation doses to the lower legs and feet of staff undertaking interventional procedures. *Br J Radiol*.

- 2014;87(1038):20130746.
- [6] Koenig AM, Maas J, Viniol S, Etzel R, Fiebich M, Thomas RP, et al. Scatter radiation reduction with a radiation-absorbing pad in interventional radiology examinations. *Eur J Radiol*. 2020;132(5):109245.
- [7] Kim KP, Miller DL, Balter S, Kleinerman RA, Linet MS, Kwon D, Simon SL. Occupational radiation doses to operators performing cardiac catheterization procedures. *Health Phys*. 2008;94(3):211-27.
- [8] Kim SH, Kim YJ, Kwak JS. Development and Radiation shield effects of Dose Reduction Fiber for Scatter ray in CT Exams. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2013; 14(4):1871-6.
- [9] Yoon CH, Yoon SH, Choi JG. Radiation Exposure According to Radiation Technologist' Working Departments. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2008;31(3):217-22.
- [10] Nowak M, Carbonez P, Krauss M, Verdun FR, Damet J. Characterisation and mapping of scattered radiation fields in interventional radiology theatres. *Sci Rep*. 2020;10(1):18754.
- [11] Han SC, Hong DH. Measurement of Spatial Dose Distribution for evaluation operator dose during Neuro-interventional Procedures. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(3): 323-8.
- [12] Kang YM, Cho JH, Kim SC. Changes in entrance surface dose in relation to the location of shielding material in chest computed tomography. *Radiation Effects and Defects in Solids*. 2015;170(7-8): 645-50.
- [13] Kim JH, Kim JS, Kim YE, Jang IH. Comparison of worker exposure dose according to pulse rate change during TACE and analysis of spatial scattering dose distribution in laboratory. *Journal of Korean Society of Cardio-Vascular Interventional Technology*. 2014;17(1):137-44. [cited 2021 November 20]. Available from: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06401740>
- [14] Kim SC, Kim S. *Physics of radiology*. Hanmi Medical Publishing. 2009:123-126.
- [15] Jang MS, Her SB, Kim DY, Lee WS, Lee HK, Song CW. Comparison of patient's radiation dose according to whether or not collimation is used during TACE treatment. *Journal of Korean Society of Cardio-Vascular Interventional Technology*. 2014; 17(1):151-5. [cited 2021 November 20]. Available from: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06401742>
- [16] Jeon ME, Lim CH, Jung HR, You IG, Hong DH, Kang BS. A Study on Radiation Exposure Dose of Operator During Interventional Radiology Procedure. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2012;35(3):219-226.

구분	성명	소속	직위
제1저자	김민준	가천대학교	학부생
제1저자	백강남	가천대학교 보건대학원 /인하대학교병원	석사대학원생/방사선사
교신저자	김성철	가천대학교	정교수