

Original Article

Y-90 microsphere로부터 생성되는 제동복사선의 차폐를 위한 차폐체 개발 연구

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

박준영

Development of shielding device for bremsstrahlung radiation from Y-90 microspheres

Jun Young Park

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Republic of Korea

Purpose Yttrium-90 (Y-90) is high-energy beta emitters (E_{β} , max = 2.28 MeV) with the mean penetration depth of 2.5 mm in tissue. Radioactive microspheres containing Y-90 is widely used for the transarterial radioembolization of hepatocellular carcinoma. However, bremsstrahlung radiation from Y-90 can cause the external radiation exposure to medical staff who handle the Y-90 microspheres. In this study, shielding device for Y-90 microspheres was developed to minimize the external radiation exposure.

Materials and Methods Y-90 microsphere shielding device was made from 6 mm thicknesses of tungsten including the lead glass window. Radiation shielding ability of Y-90 microsphere shielding device was evaluated using 4 GBq of SIR-Spheres® Y-90 microspheres. The bremsstrahlung radiation was measured using radiation survey meter.

Results The mean radiation dose of Y-90 microspheres in acrylic shield was $261.7 \pm 2.3 \mu\text{Sv/h}$ ($n=5$) at 10 cm away from the shield. With the additional tungsten shielding device, it was $23.7 \pm 1.3 \mu\text{Sv/h}$ ($n=5$). Thus, the bremsstrahlung radiation dose was decreased by 90.9%. At 50 cm away from the shield, bremsstrahlung radiation was reduced by 89.2% after using tungsten shielding device.

Conclusion During the preparation and radioembolization of Y-90 microsphere, medical staff are exposed to external radiation. In this study, we demonstrated that the use of tungsten shielding device devices significantly reduced the amount of bremsstrahlung radiation. Y-90 microsphere tungsten shielding device can be highly effective in reducing the bremsstrahlung radiation.

Key Words Y-90, Radiotherapy, Bremsstrahlung, Radiation shield, Radiation exposure

서 론

간암은 세계적으로 발병률이 높은 암으로 간암 발생의 주요 원인인 B형 간염과 C형 간염의 유병률이 높은 한국, 중국, 일본 등과 같은 아시아 국가에서 많이 발생된다.¹⁾ 우리나라 통계

청의 2017 사망원인통계에 따르면 간암은 인구 10만명 당 사망률이 17.1명으로 폐암(35.1명)에 이어 두 번째로 높다.²⁾ 간암은 크게 원발성 간암과 전이성 간암으로 나뉜다. 원발성 간암은 간세포암종(hepatocellular carcinoma)과 담관암종(cholangiocarcinoma)이 대표적이며, 원발성 간암의 90%를 간세포암종이 차지한다.³⁾ 간암의 병기는 암의 크기나 범위 및 전이여부에 따라 1기에서 4기까지 나눌 수 있는데, 간암의 병기 및 간 기능 등에 따라 치료방법이 결정된다.⁴⁾ 간암의 치료법은 간 절제와 간 이식과 같은 수술적 치료와 국소 치료, 경동맥화학색전술 및 기타 경동맥치료법, 체외 방사선치료, 전신 치료, 보조요법 등과 같은 비수술적 치료로 나눌 수 있다.⁵⁾

• Received: February 28, 2019 Accepted: March 2, 2019
• Corresponding author: Jun Young Park
• Department of Nuclear Medicine, Yonsei University College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Republic of Korea
Tel: +82-2-2228-4871
E-mail: abies60@naver.com

경동맥방사선색전술(transarterial radioembolization)은 경동맥치료법 중 하나로 간 절제나 국소치료가 불가능하거나 항암화학 요법에 실패한 간암환자의 간동맥에 방사성동위원소를 포함하고 있는 미세구(microsphere)를 주입하여 간암을 치료하는 방법이다.⁶⁾ 경동맥방사선색전술에는 주로 베타선을 방출하는 phosphorus-32 ($E_{\beta \text{ max}} = 1.71 \text{ MeV}$; 반감기 14.3 일), yttrium-90 ($E_{\beta \text{ max}} = 2.28 \text{ MeV}$; 반감기 64 시간), holmium-166 ($E_{\beta \text{ max}} = 1.84 \text{ MeV}$; 반감기 26.8 시간), rhenium-188 ($E_{\beta \text{ max}} = 2.12 \text{ MeV}$; $E_{\gamma} = 155 \text{ keV}$ (15%); 반감기 16.9 시간) 등의 방사성동위원소가 사용된다.⁷⁾ 임상에서 가장 많이 사용되는 yttrium-90 (Y-90)의 경우 음의 베타 붕괴(β^- decay)를 하여 zirconium-90으로 바뀌면서 고에너지의 베타선을 방출하는데, 방출된 베타선이 종양세포의 DNA에 손상을 주어 종양이 사멸되는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 현재 미국식품의약청 및 대한민국 식품의약품안전처로부터 허가받아 시판 중인 경동맥 방사선색전술 장비로 SIR-Spheres[®] (SIRTeX Medical, Australia)와 TheraSphere[®] (MDS Nordion, Canada)가 있으며, 두 장비 모두 Y-90을 함유한 미세구를 사용한다.

Y-90은 고에너지 베타선원이며, 간세포암환자의 치료 시 높은 용량의 선원을 사용하기 때문에 베타선원에 의해 발생하는 제동복사선(bremsstrahlung)에 의한 피폭이 발생할 수 있다. 제동복사선이란 가속된 하전입자가 원자핵 주변의 전기장내에서 감속되면서 상실된 에너지만큼 전자기파의 에너지 형태로 발산되는 것을 말하며, 연속 스펙트럼을 나타내기 때문에 연속 X-선으로도 불린다. 특히, Y-90을 함유하는 미세구를 취급하는 의료인들은 선원과의 거리가 매우 가깝고, 작업 시간이 길기 때문에 제동복사선에 의한 불필요한 피폭을 줄일 필요성이 있다. 본 연구에서는 Y-90을 함유하는 미세구에서 방출되는 제동복사선에 의한 방사선피폭을 최소화하기 위한 차폐체를 개발하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 실험도구 및 재료

본 연구에서 차폐성능시험을 위한 선원으로 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구를 사용하였다. SIR-Spheres delivery set 장비의 설치 제조사에서 제공된 절차에 따라 다음과 같이 시행하였다. 배송용 납차폐 용기에서 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구가 담겨있는 배송바이알(shipping vial)을 꺼낸 후 주사기를 이용하여 1 GBq, 2 GBq, 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구를 멸균된 V-바이알에 각각 옮겨 담았다. V-바이알내의 Y-90의 방사

능을 CRC-15PET[®] (Capintec, USA)을 이용하여 측정 한 후 제조사에서 제공되는 베타선 차폐체인 아크릴 보호 장치(acrylic beta shield)에 넣어 보관하였다. 제동복사선 차폐체는 두께 6 mm의 텅스텐으로 제작하였고, 전면부에는 경동맥방사선색전술 시 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 투여과정을 확인하기 위하여 20 mm의 납유리를 부착하였다. 텅스텐 차폐체의 내경은 아크릴 보호 장치의 외경(50 mm)에 맞추어 52 mm로 제작하였다(Fig. 1).

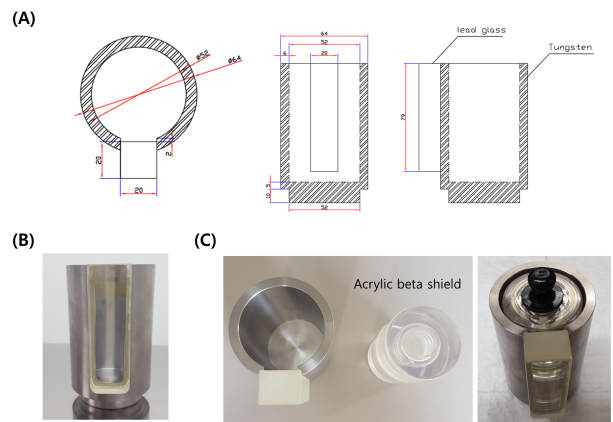


Fig. 1. Design of Y-90 tungsten shielding device. (A) Blueprint of tungsten shielding device (B) Frontal photo of tungsten shielding device (C) After installation of acrylic beta shield of SIR-Spheres[®].

2. 측정방법

텅스텐 차폐체의 제동복사선 차폐율(shielding rate)을 구하기 위하여 GM tube식 디지털 서베이미터(Inspector Alert[™], SE international, USA)를 사용하였다. 아크릴 보호 장치에 보관되어 있는 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구를 텅스텐 차폐체에 넣은 후 텅스텐 차폐체 표면으로부터 10 cm, 50 cm, 100 cm인 곳에 서베이미터를 설치한 후 선량률을 측정하였다. 차폐율 측정을 위하여 텅스텐 차폐체를 제거한 후 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구가 보관되어 있는 아크릴 보호 장치만 동일한 방법으로 선량률을 측정하였다(Fig. 2). 각 실험 조건에 따라 선량율은 5 회 반복 측정하였다. 차폐율은 다음 식에 의하여 산출 하였다.

$$\text{차폐율} = \frac{\text{텅스텐 차폐체 사용 전 선량} - \text{텅스텐 차폐체 사용 후 선량}}{\text{텅스텐 차폐체 사용 전 선량}} \times 100\%$$

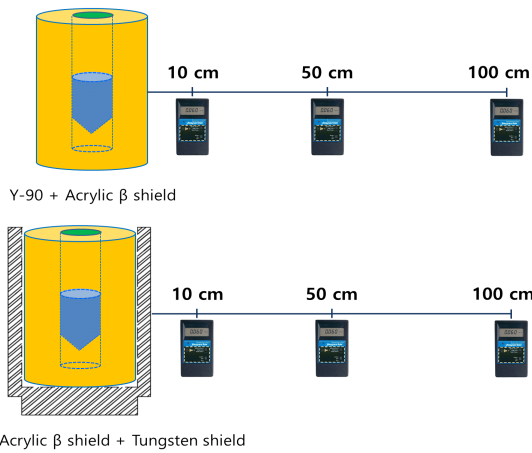


Fig. 2. Estimation method of shielding ability of tungsten shielding device.

결 과

차폐체 표면 10 cm, 50 cm, 100 cm에서의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구 용량별 평균 방선량률 및 차폐율은 다음과 같다. 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구가 들어있는 아크릴 보호 장치의 표면 10 cm에서 방출되는 평균 방사선량률은 $261.7 \pm 2.3 \mu\text{Sv/h}$ 이었고, 텅스텐 차폐체 장착 후 표면 10 cm에서의 방사선량률은 $23.7 \pm 1.3 \mu\text{Sv/h}$ (n=5) 이었다. 2 GBq과 1 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구가 들어있는 아크릴 보호 장치의 표면 10 cm에서 방출되는 평균 방사선량률은 각각 $128.3 \pm 3.5 \mu\text{Sv/h}$, $67.2 \pm 0.8 \mu\text{Sv/h}$ 이었고, 텅스텐 차폐체 장착 후 표면 10 cm에서의 방사선량률은 각각 $14.2 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$, $7.6 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$ (n=5)로 측정되었다. 표면 10 cm 위치에서 차폐율을 분석한 결과 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경우 90.9%, 2 GBq의 경우 88.9%, 1 GBq의 경우 88.8%의 차폐율을 보였다(Table 1).

Table 1. Shielding rate of tungsten shielding device at 10 cm away from the shield

Radioactivity of Y-90 microsphere	Radiation dose (mean $\mu\text{ Sv/h}$, n=5)		
	Without tungsten shield	With tungsten shield	Shielding rate
4 GBq	261.7 ± 2.3	23.7 ± 1.3	90.9%
2 GBq	128.3 ± 3.5	14.2 ± 0.1	88.9%
1 GBq	67.21 ± 0.8	7.6 ± 0.1	88.8%

아크릴 보호 장치의 표면 50 cm에서 방출되는 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 평균 방사선량률은 $22.4 \pm 0.4 \mu\text{Sv/h}$ 이었고,

텅스텐 차폐체 장착 후의 방사선량률은 $2.4 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$ (n=5)로 측정되었다. 2 GBq과 1 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구가 들어있는 아크릴 보호 장치의 표면 50 cm에서 방출되는 평균 방사선량률은 각각 $11.0 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$, $5.6 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$ 이었고, 텅스텐 차폐체 장착 후의 방사선량률은 각각 $1.4 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$, $0.8 \pm 0.03 \mu\text{Sv/h}$ (n=5)로 측정되었다. 표면 50 cm 위치에서 텅스텐 차폐체의 차폐율은 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경우 89.2%, 2 GBq의 경우 87.5%, 1 GBq의 경우 86.3%로 나타났다(Table 2).

Table 2. Shielding rate of tungsten shielding device at 50 cm away from the shield

Radioactivity of Y-90 microsphere	Radiation dose (mean $\mu\text{ Sv/h}$, n=5)		
	Without tungsten shield	With tungsten shield	Shielding rate
4 GBq	22.4 ± 0.4	2.4 ± 0.1	89.2%
2 GBq	11.0 ± 0.1	1.4 ± 0.1	87.5%
1 GBq	5.6 ± 0.1	0.8 ± 0.03	86.3%

아크릴 보호 장치의 표면 100 cm에서 방출되는 4 GBq, 2 GBq, 1 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 평균 방사선량률은 각각 $5.6 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$, $2.9 \pm 0.1 \mu\text{Sv/h}$, $1.6 \pm 0.03 \mu\text{Sv/h}$ 이었고, 텅스텐 차폐체 장착 후의 방사선량률은 각각 $0.8 \pm 0.03 \mu\text{Sv/h}$, $0.5 \pm 0.03 \mu\text{Sv/h}$, $0.4 \pm 0.02 \mu\text{Sv/h}$ (n=5)로 측정되었다. 표면 100 cm 위치에서 텅스텐 차폐체의 차폐율을 분석한 결과 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경우 67.1%, 2 GBq의 경우 82.0%, 1 GBq의 경우 76.1%의 차폐율을 보였다(Table 3).

Table 3. Shielding rate of tungsten shielding device at 100 cm away from the shield

Radioactivity of Y-90 microsphere	Radiation dose (mean $\mu\text{ Sv/h}$, n=5)		
	Without tungsten shield	With tungsten shield	Shielding rate
4 GBq	5.6 ± 0.1	0.8 ± 0.03	67.1%
2 GBq	2.9 ± 0.1	0.5 ± 0.03	82.0%
1 GBq	1.6 ± 0.03	0.4 ± 0.02	76.1%

고찰 및 결론

고에너지의 베타선을 방출하는 방사성동위원소를 함유하는 미세구를 이용한 경동맥방사선색전술은 경동맥화학색전

술에 비해 색전술후증후군(post-embolization syndrome)과 같은 전신부작용이 경미하고 시술횟수도 적으며 치료 지속효과가 긴 장점이 있다.⁹⁾ 하지만, 방사성 물질을 취급하는 방사선 작업종사자는 높은 용량의 선원이 함유된 고에너지의 Y-90 미세구를 직접 다루기 때문에 선원과의 거리가 가깝고, 경동맥방사선색전술 장비 준비 및 시술 시간이 길어 베타선원에 의해 발생하는 제동복사선으로 인한 방사선피폭에 노출될 수 있다.

SIR-Spheres[®] Y-90 미세구는 호주에서 제작되어 국내로 배송 시 1차적으로 밀도가 낮은 아크릴 필름으로 베타선을 차폐 후 2차적으로 제동복사선의 차폐를 위하여 납으로 제작된 용기에 보관하여 배송되기 때문에 방사선 피폭의 염려가 낮다. 하지만 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경동맥방사선색전술 시 아크릴 보호 장치로 베타선만 차폐하기 때문에 방사선 작업종사자들의 제동복사선에 의한 피폭을 최소화 할 필요성이 있다. 본 연구는 제동복사선에 의한 방사선 피폭영향을 최소화 하기 위해 텅스텐을 이용하여 차폐체를 제작하였고, 차폐체 사용 시 표면 10 cm와 50 cm에서 방출되는 방사선량률이 각각 89.5%와 87.7%가 감소되는 것을 확인하였다. 특히, SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 준비 및 시술과정에서 방사선 작업종사자와 선원의 거리가 평균 10 cm에서 50 cm임을 고려하였을 때 본 연구를 통해 개발된 텅스텐 차폐체를 임상에서 사용할 경우 제동복사선에 의한 불필요한 외부피폭을 저감화 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 고에너지의 베타선을 방출하는 Y-90 미세구의 경동맥방사선색전술 시 발생하는 제동복사선에 의한 불필요한 외부피폭을 줄이고자 텅스텐 차폐체를 개발하였다. 본 연구에서는 다양한 용량(1 GBq, 2 GBq, 4 GBq)의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구를 사용하여, 텅스텐 차폐체 표면으로부터 10 cm, 50 cm, 100 cm인 곳에서 GM tube식 디지털 서베이미터로 선량률을 측정하였다. 텅스텐 차폐체 표면 10 cm 위치에서 차폐율을 분석한 결과 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경우 90.9%, 2 GBq의 경우 88.9%, 1 GBq의 경우 88.8%의 차폐율을 보였고, 표면 50 cm 위치에서 차폐율은 4 GBq의 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경우 89.2%, 2 GBq의 경우 87.5%, 1 GBq의 경우 86.3%로 나타났다. 텅스텐 차폐체 표면 100 cm 위치에서 텅스텐 차폐체는 평균 75.1%의 차폐율을 보이는 것으로 확인할 수 있었다. 높은 용량이 함유된 SIR-Spheres[®] Y-90 미세구의 경동맥방사선색전술시 방사선 작업종사자와

선원간의 거리가 짧고, 작업시간이 길기 때문에 제동복사선에 의한 피폭에 노출될 수 있다. 본 연구를 통해 개발된 텅스텐 차폐체는 향후 임상에서 경동맥방사선색전술 시 제동복사선에 의한 외부피폭을 줄이는데 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

REFERENCES

1. Boyle DA. Hepatocellular carcinoma: implications for asia-pacific oncology nurses. *Asia Pac J Oncol Nurs.* 2017;4:98-103
2. 통계청. 2017 사망원인통계. 온라인 간행물; 2018. p.1-55
3. Llovet JM, Zucman-Rossi J, Pikarsky E, Sangro B, Schwartz M, Sherman M, et al. Hepatocellular carcinoma. *Nat Rev Dis Primers.* 2016;2:16018
4. Korean Liver Cancer Study Group. 2014 Korean liver cancer study group-national cancer center korea practice guideline for the management of hepatocellular carcinoma. *Korean J Radiol.* 2015; 16:465-522
5. 대한간암학회, 국립암센터. 2018 간세포암종 진료 가이드라인. 온라인 간행물; 2018. p.1-169
6. 보건복지부, 신의료기술평가위원회. 동맥경유 방사선색전술의 신의료기술평가보고서. 온라인 간행물; 2010. p.1-180
7. Bouvry C, Palard X, Edeline J, Ardisson V, Loyer P, Garin E, et al. Transarterial Radioembolization (TARE) Agents beyond ⁹⁰Y-Microspheres. *Biomed Res Int.* 2018; 2018: 1435302
8. Kassis AI. Therapeutic radionuclides: biophysical and radiobiologic principles. *Semin Nucl Med.* 2008; 38: 358-366
9. Chung JW. Recent advance in international management of hepatocellular carcinoma. *J Korean Med Assoc.* 2013; 56:972-982