

Original Article Radium-223 Dichloride의 외부 방사선량의 평가

서울대학교병원 핵의학과

조성욱 · 윤석환 · 승종민 · 김태엽 · 임정진 · 김진의

The Evaluation of External Radiation Exposure dose rate for Radium-223 Dichloride

Seong Wook Cho, Seok Hwan Yoon, Jong Min Seung, Tae Yub Kim, Jeong Jin Im and Jin Eui Kim
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital

Purpose	²²³ Ra-Dichloride is used for the medicine of castration-resistant prostate cancer (CRPC) and which emits α -ray of 28 Mev that is used for therapy. However ²²³ Ra-Dichloride emits β -ray of 3.6% and γ -ray of 1.1%(80,156,270 keV) aside from α -ray in decay. Therefore we would like to evaluate external radiation expose dose rate of β -ray of ²²³ Ra-Dichloride.
Materials and Methods	We calculated external radiation expose dose rate using γ -constant of ²²³ Ra-Dichloride, ^{99m} Tc based on Health physics(2012). ²²³ Ra-Dichloride of 3.5 MBq and ^{99m} Tc-MDP of 740 MBq were applied. external radiation expose dose rate 15 times from 1m by survey meter.
Results	γ -constant of ²²³ Ra, ^{99m} Tc-MDP from 1m distance based on Health physics(2012) is 0.0469, 0.0215. calculated value of external radiation expose dose rate was 16 μ Sy, 34 μ Sy which activity is ²²³ Ra-Dichloride of 3.5 MBq and ^{99m} Tc-MDP of 740 MBq from 1 m. and measured mean value of 1 m was 0.7 μ Sy/h, 18 μ Sy/h.
Conclusion	γ -constant of ²²³ Ra is higher than ^{99m} Tc based on Health physics(2012). however calculated maximum external radiation expose dose rate of ²²³ Ra-Dichloride is lower than ^{99m} Tc due to actually used quantity of activity of ²²³ Ra-Dichloride is small. measured value of ²²³ Ra-Dichloride is also lower than ^{99m} Tc-MDP. Therefore external radiation expose dose rate of γ -ray of ²²³ Ra-Dichloride is very low.
Key Words	²²³ Ra-Dichloride, external radiation expose dose

서 론

전립선암은 세계적으로 남성에게 발생하는 가장 흔한 암이며, 암 관련 이환 및 사망의 주요 원인 중 하나이다. 전립선 암 세포는 안드로겐에 의해 자극되며 안드로겐 수용체에 결합하여 활성화된다. 안드로겐 수용체는 전사인자로 작용하며 세포주기, 증식 및 분화를 조절한다. 안드로겐 수용체 신호 차단은 전립선암 치료의 특징이다. 전립선암에서 통증은 빈번하게 일어나는 관련 증상으로 환자의 삶의 질 악화의 주요 원인 중 하나이다. 주사용 ²²³Ra-Dichloride는 28 Mev 알파선을 방

출하는 갈슘 유사체로 골 전이 주위의 골형성이 촉진된 부위에 침착되어 전립선암(Castration-Resistant Prostate Cancer)의 치료에 이용되고 있다¹⁻²⁾. ²²³Ra는 체내 반감기가 11.4 일, 100 마이크로미터 이하 범위의 높은 선 에너지 전달(LET) 알파선을 방출하므로 매우 국소적인 방사선 영역을 생성시키는데 사용할 수 있다. 골격 전이와 같은 표적조직에 알파선을 위치하게 되면 베타선보다 더 국소적 용적으로 방사선을 전달하여 주위의 정상조직에 대한 노출을 줄인다. ²²³Ra-Dichloride의 물리적 특성은 다음과 같다(Table 1, Fig. 1. 2)

²²³Ra-Dichloride는 알파선 이외에 붕괴 과정에서 3.6%의 베타선과 1.1%의 감마선(80, 156, 270 keV)을 방출한다. 본 연구에서는 ²²³Ra-Dichloride 치료 시 사용되는 방사능양 3.5 MBq과 ^{99m}Tc-MDP를 사용하여 Bone scan 검사 시 사용되는 방사능양 740 MBq을 사용하여 감마선에 대한 외부 방사선량을 평가해보고자 하였다.

• Received: March 18, 2016. Accepted: April 15, 2016
• Corresponding author: **Seong Wook Cho**
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital 28 Yongon_Dong, Chongno-Gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-2748 Fax: +82-2-766-9083
E-mail: prism3000@hanmail.net

Table 1. Physical Properties of ^{223}Ra -Dichloride

Half-life (d)	Path length (mm), mean/maximum	Emission	Maximum energy deposited (MeV)
11.43	60-100	α (4)	5.78, 6.88, 7.53, 6.68
		β (2)	0.45, 0.49
		γ (5)	0.82, 0.154, 0.269, 0.351, 0.402

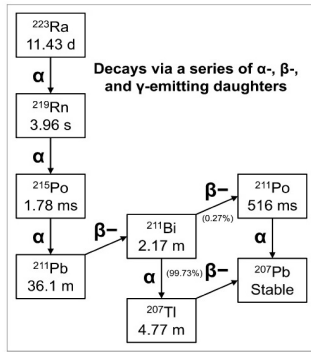


Fig. 1. Decay scheme for ^{223}Ra .

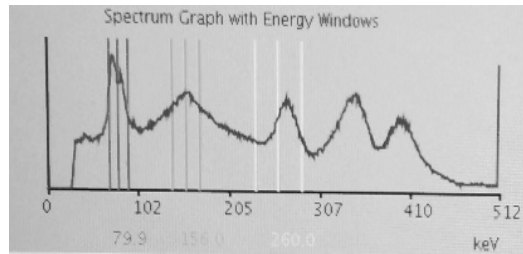


Fig. 2. Spectrum Graphy Energy Windows for ^{223}Ra .



Fig. 3. ^{223}Ra -Dichloride (Xofigo).

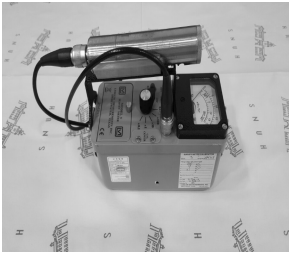


Fig. 4. Ludlum Model 14C survey meter.



Fig. 5. Capintec CRC®-Ultra Dose Calibrator



Fig. 6. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP.

실험 재료 및 방법

1. 실험 기기 및 재료

- ^{223}Ra -Dichloride(Xofigo) 3.5 MBq
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 740 MBq
- survey meter
- Capintec CRC®-Ultra Dose Calibrator

2. 실험방법

^{223}Ra -Dichloride의 외부 방사선량을 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP과 비교 평가하기 위해 ^{223}Ra -Dichloride 치료 시 사용되는 방사능양 3.5 MBq과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP를 사용하여 Bone scan 검사 시 사용되는 방사능양 740 MBq을 사용하였다. 최대 외부 방사선량은 $D(\infty) = 34.6\tau Q_0T_p(0.25)$ 식을 적용하였으며, 실제로 두 종류

의 vial에서 방출되는 감마선을 1m의 거리에서 survey meter를 이용하여 15회 외부 방사선량을 측정하였다.

결 과

Health physics(2012)에서 제공하는 ^{223}Ra 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 의 1m거리에서의 감마상수의 값을 각각 적용하여 외부 방사선량을 값을 구하였다. 최대 외부 방사선량 공식은 $D(\infty) = 34.6\tau Q_0T_p(0.25)$ 으로 다음과 같다.

τ : 1 m거리의 감마상수 (Health physics 2012, ^{223}Ra 0.0469, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 0.0215)

Q_0 : 초기방사능 (^{223}Ra 3.5 MBq, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 740 MBq)

T_p : 물리적 반감기 (^{223}Ra 11.4일, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 6시간) 기준으로 산출값은 다음과 같다(Table 2).

Table 2. Calculated maximum likely external dose rate

Health physics (2012)	²²³ Ra-Dichloride	^{99m} Tc-MDP
τ : (μ Sv/MBq·h)	0.0469	0.0215
Q0 : (MBq/70kg)	3.5	740
Tp : (Day)	11.4	0.25

Table 3. Measured mean dose rate from the vial

Dose rate from the vial	²²³ Ra-Dichloride	^{99m} Tc-MDP
1 m	0.7 μ Sy/h	18 μ Sy/h

위 식을 적용하여 외부 방사선량률 값을 적용하였을 때 ²²³Ra-Dichloride 16 μ Sy, ^{99m}Tc-MDP 34 μ Sy를 보였고, 또한 두 종류의 vial에서 1m 거리에서 방출되는 외부 방사선량률은 다음과 같은 측정값을 보였다(Table 3).

고찰 및 결론

뼈는 전립선암의 가장 흔한 전이 부위로 거세저항성 전립선암 환자의 약 90%는 골격 전이를 동반하는 것으로 알려져 있다. 주사용 ²²³Ra-Dichloride는 28 Mev 알파선을 방출하는 칼슘 유사체로 골 전이 주위의 골형성이 촉진된 부위에 침착되어 전립선암(Castration-Resistant Prostate Cancer)의 치료에 이용되고 있다. ²²³Ra-Dichloride는 알파선 이외에 붕괴 과정에서 3.6%의 베타선과 1.1%의 감마선 (80, 156, 270 keV)을 방출한다. ²²³Ra-Dichloride 치료 시 사용되는 방사능양 3.5 MBq과 ^{99m}Tc-MDP를 사용하여 Bone scan 검사시 사용되는 방사능양 740 MBq을 사용하여 감마선에 대한 외부 방사선량을 평가해보고자 하였다. ²²³Ra-Dichloride이 ^{99m}Tc-MDP에 비해 높은 감마상수 값을 나타내지만 ²²³Ra-Dichloride이 ^{99m}Tc-MDP보다 낮은 최대 외부 방사선량 값이 산출되었으며, 실제로 측정된 외부 방사선량률도 작은 값을 보여 ²²³Ra-Dichloride을 이용한 치료 시 감마선에 대한 외부 방사선량은 매우 작음을 알 수 있었다.

요 약

전립선암은 세계적으로 남성에게 발생하는 가장 흔한 암이며, 암 관련 이환 및 사망의 주요 원인 중 하나이다. 전립선암세포는 안드로겐에 의해 자극되며 안드로겐 수용체에 결합하여 활성화된다. 안드로겐 수용체는 전사인자로 작용하며

세포주기, 증식 및 분화를 조절한다. 안드로겐 수용체 신호 차단은 전립선암 치료의 특징이다. 전립선암에서 통증은 빈번하게 일어나는 관련 증상으로 환자의 삶의 질 악화의 주요 원인 중 하나이다. 주사용 ²²³Ra-Dichloride는 28 Mev 알파 방사선을 방출하여 골 전이가 있는 거세저항성 전립선암(Castration-Resistant Prostate Cancer)의 치료에 이용되고 있다. ²²³Ra은 체내 반감기가 11.4 일, 100 마이크로미터 이하 범위의 높은 선 에너지 전달(LET) 알파선을 방출하므로 매우 국소적인 방사선 영역을 생성시키는데 사용할 수 있다. 골격 전이와 같은 표적조직에 알파선을 위치하게 되면 베타선보다 더 국소적 용적으로 방사선을 전달하여 주위의 정상조직에 대한 노출을 줄인다. 하지만 ²²³Ra-Dichloride는 알파선 이외에 붕괴 과정에서 3.6%의 베타선과 1.1%의 감마선 (80, 156, 270 keV)을 방출한다^{3,4)}. 본 연구는 ²²³Ra-Dichloride 치료 시 사용되는 방사능양 3.5 MBq과 ^{99m}Tc-MDP를 사용하여 Bone scan 검사시 사용되는 방사능양 740 MBq을 사용하여 감마선에 대한 외부 방사선량을 평가해보고자 하였다. 최대 외부 방사선량은 $D(\infty) = 34.6\tau Q_0 T_p(0.25)(\tau$: 감마상수, Q_0 : 초기 방사능양, T_p : 물리적 반감기) 식을 이용하여 산출하였으며, 실제로 vial에서 방출되는 감마선을 1m의 거리에서 survey meter를 이용하여 15회 외부 방사선량률을 측정하였다. Health physics(2012)에서 제공하는 ²²³Ra-Dichloride과 ^{99m}Tc-MDP의 1m 거리에서의 감마상수의 값은 각각 0.0469, 0.0215, 실제로 사용되는 방사능양 3.5 MBq, 740 MBq, 반감기 11.4일, 6시간을 기준으로 산출된 외부 방사선량은 ²²³Ra-Dichloride은 16 μ Sy, ^{99m}Tc-MDP은 34 μ Sy/h의 값을 보였다. 실제로 vial에서 1m 거리에서 방출되는 외부 방사선량률은 평균 ²²³Ra-Dichloride는 μ Sy/h, ^{99m}Tc-MDP은 18 μ Sy/h 값이 측정값을 보였다.

감마상수 값은 ²²³Ra-Dichloride이 ^{99m}Tc-MDP에 비해 높은 값을 나타내지만 실제로 사용되는 방사능의 양을 고려한 최대

외부 방사선량은 ^{223}Ra -Dichloride이 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP보다 낮은 최대 외부 방사선량 값이 산출되었으며, 실제로 측정된 외부 방사선량율도 작은 값을 보여 ^{223}Ra -Dichloride을 이용한 치료 시 감마선에 대한 외부 방사선량은 매우 작음을 알 수 있었다. ^{223}Ra -Dichloride은 골 전이가 있는 거세저항성 전립선암 (Castration-Resistant Prostate Cancer) 환자들에게 유용한 치료제라고 사료된다.

References

1. 고창순 외. 제3판 핵의학. 고려의학. 2008.
2. Neeta Pandit-Taskar, Steven M. Larson, and Jorge A. Carrasquillo, Bone-Seeking Radiopharmaceuticals for Treatment of Osseous Metastases, Part 1: a Therapy with ^{223}Ra -Dichloride. *Journal of Nuclear Medicine*, Vol. 55. No. 2. February 2014.
3. Nilsson S, Strang P, Aksnes AK, et al. A randomized, dose-response, multicenter phase II study of radium-223 chloride for the palliation of painful bone metastases in patients with castration -resistant prostate cancer. *Eur J Cancer*. 2012;48:678-686.
4. Neeta Pandit-Taskar, Steven M. Larson, and Jorge A. Carrasquillo. Bone-Seeking Radiopharmaceuticals for Treatment of Osseous Metastases, Part 1: a Therapy with ^{223}Ra -Dichloride. *Journal of Nuclear Medicine*, published on December 16, 2013 as doi:10.2967/jnumed.112.112482.