

방사성활액막절제술에서 몬테카를로 방법을 이용한 Re-188의 흡수선량 계산

Re-188 Dosimetry in Radiation Synovectomy
Using Monte Carlo Simulation

이 진^{#*}, 이동수, 신승애[#], 정준기, 이명철

서울대학교 의과대학 핵의학교실, 이화여자대학교 물리학과[#]

요 약

활액막 염증의 치료를 위하여 베타선을 방출하는 방사성 의약품을 관절에 주사하는 방사성활액막절제술이 시행되고 있다. Re-188($E_{\beta\text{-max}}=2.12$ MeV, 155 keV(15%))을 방사성활액막절제술에서 방사성 의약품으로 사용할 때, 무릎 관절에서의 흡수선량 분포를 몬테카를로 방법으로 계산하였다. 무릎 관절의 기하학적인 모양은 관절 내의 뼈, 연골, 관절강, 활액막과 활액막하 조직으로 구성하였으며 베타와 감마입자의 운송에 대한 모의실험은 Monte Carlo code EGS4를 사용하였다. 주입한 Re-188 370 MBq(10 mCi)이 관절강과 활액막에 균일하게 분포하였을 때 흡수선량은 활액막에서 0.72 mGy/s, 뼈 표면에서 0.14 mGy/s였다. 관절에서 베타선 흡수선량 분포는 Re-188을 방사성활액막절제술용 방사성 의약품으로 사용할 때 주사량을 정하는 자료로 쓰일 수 있다고 생각한다.

Abstract

Radiation synovectomy has been shown to be an effective treatment for the rheumatoid arthritic knee. In this study, we estimated absorbed dose rate for Re-188 in radiation synovectomy. Re-188 contains beta emissions suitable for therapy($E_{\beta\text{-max}}=2.12$ MeV, $T_{1/2}=16.9$ h). Because of Re-188 also emits a gamma ray(155 keV, 15 %), we monitored leakage of radioactivity. The geometry incorporates bone, articular cartilage, joint cavity and tissue. Using the EGS4 Monte Carlo code, particle emission from within the radiation source region and transport of particles through the joint model was simulated. Consider the injection of 370 MBq Re-188, the dose rate to the synovial surface is 0.72 mGy/s, to the bone surface it is 0.14 mGy/s. We concluded that the results of this work will provide a detailed and useful account of radiation absorbed dose distributions in radiation synovectomy.

1. 서론

활액막 염증의 치료를 위하여 베타선을 방출하는 방사성 의약품을 관절에 주사하는 방사성활액막절제술에 대한 연구가 시행되고 있다¹⁾. 오스트레일리아, 캐나다와 몇몇 유럽국가에서 실시되고 있으나 방사성동위원소에 대한 환자의 흡수선량 평가가 제대로 이루어지지 않고 있다. Re-188은 W-188/Re-188 발생기에서 얻을 수 있어 항상 사용할 수 있고 치료에 적합한 베타선($E_{\beta\text{-max}}=2.12$ MeV)을 방출하는 동시에 영상화가 가능한 155 keV(15%)의 감마선을 방출하여 주입한 Re-188이 관절에서 누출되는 경우 모니터 할 수 있을 뿐 아니라 전신 흡수선량도 구할 수 있다. Re-188을 방사성활액막절제술용 방사성 의약품으로 사용할 때, 무릎 관절에서 베타선 흡수선량 분포를 몬테카를로 방법으로 계산하였다.

2. 방법

무릎 관절의 기하학적인 모양(그림 1)은 관절내의 뼈, 연골, 관절강, 활액막과 활액막하 조직으로 구성하였으며, 주입된 방사성물질이 관절강과 활액막에 균일하게 분포한다고 가정하였다. 관절강은 연골과 활액막 사이에 위치한 0.44 mm 두께의 판상으로, 활액막은 0.30 mm 두께의 판상으로 가정하였으며, 연골은 1 mm 두께로 보고 계산하였다. 베타입자 운반에 대한 모의실험은 Monte Carlo code EGS4²⁾를 사용하였고, 발생하는 입자의 위치와 방향은 선원공간에서, 에너지는 Re-188의 스펙트럼에서 무작위로 선택하였으며, 전자와 광자의 한계에너지(ECUT, PCUT)는 각각 10 keV로 설정하였다. 관절강은 0.22 mm 간격으로 2개, 연골은 0.20 mm 간격으로 5개, 활액막하 조직은 0.25 mm 간격으로 12개, 뼈는 0.25 mm 간격으로 20개의 구간으로 나누어 각각에 전달되는 에너지 양을 계산하였다. 각 구간에 전달된 에너지를 $E(\text{MeV})$, 구간의 두께를 $T(\text{cm})$, 매질의 밀도를 $\rho(\text{g/cm}^3)$ 라 하면 흡수선량인자 $F(\text{cGy}\cdot\text{cm}^2/\text{MBq/s})$ 는 다음과 같다.

$$F = E \frac{\lambda}{TN\rho} \quad (1)$$

κ 는 단위를 맞추기 위한 상수이다. 활액막 면적을 S_{syn} 라 하면 흡수선량인자와 초기 흡수선량을 $D(0)$, t 시간후의 흡수선량을 $D(t)$ 의 관계는 각각 식 (2), (3)과 같다.

$$D(0) = \frac{A_o F}{S_{syn}} \quad (2)$$

$$D(t) = \frac{A_o F}{S_{syn}} (1 - e^{-\lambda_p t}) \quad (3)$$

활액막을 250 cm^2 으로 가정³⁾하였을 때 활액막 표면으로부터의 깊이에 따른 흡수선량을 결과에 나타내었다.

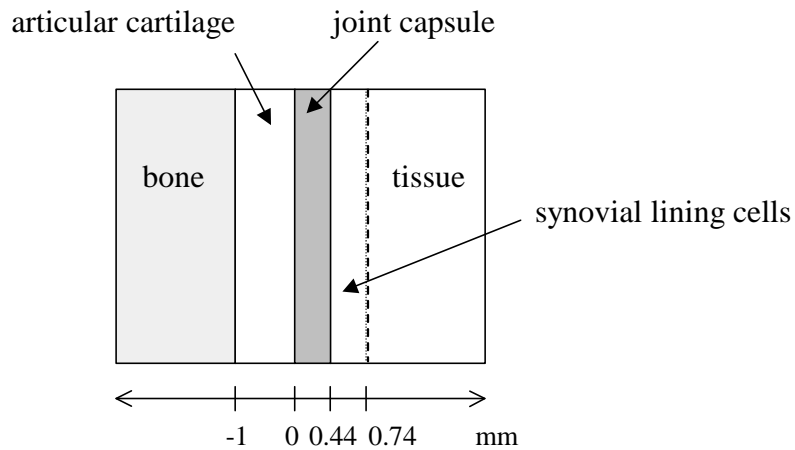


Fig. 1. The geometry of the rheumatoid synovial joint

3. 결과

각 구간에 전달된 흡수선량인자를 관절강으로부터의 거리에 따라 그림 2에 나타내었다. 주입한 $\text{Re-188 } 370 \text{ MBq}(10 \text{ mCi})$ 이 관절강과 활액막에 균일하게 분포하였을 때 흡수선량을(표 1)은 활액막에서 0.72 mGy/s , 뼈 표면에서 0.14 mGy/s 였다.

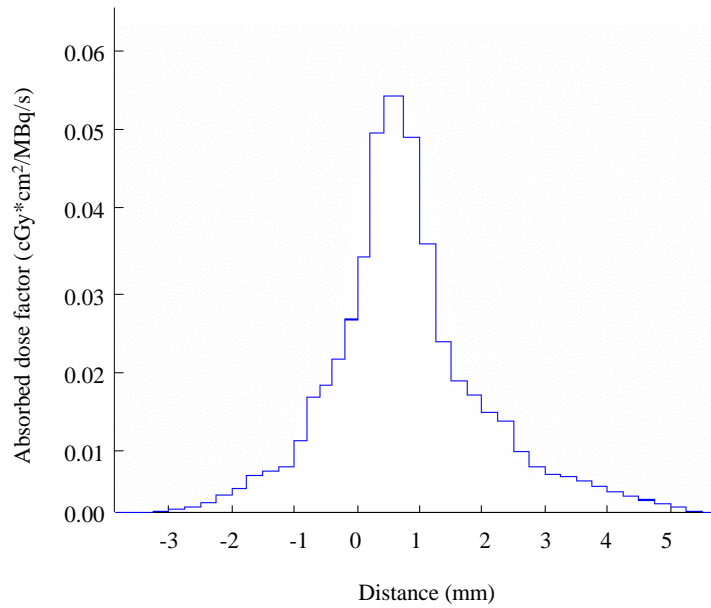


Fig. 2. Absorbed dose factors in the joint model

Depth	Absorbed dose rate (mGy/s)
-1.0 mm, bone surface	0.14
0.0 mm, articular cartilage surface	0.73
0.74 mm, synovium at 0.3 mm	0.72
1.74 mm, synovium at 1.3 mm	0.32
2.74 mm, synovium at 2.3 mm	0.17

Table 1. Absorbed dose rate in the joint model

4. 토의

방사성활액막절제술에서 방사성동위원소에 대한 흡수선량의 계산은 관절의 등방적이지 않은 기하학적 모양과 그로 인한 방사성동위원소의 불균일한 분포, 활액막의 표면적 등의 제한점이 있다. 방사성활액막절제술의 중요한 문제점은 치료부위 외에 다른 장기로의 방사성 의약품의 누출이며 주입한 방사능양의 20-50%가 누출된다는 보고⁴⁾가 있었다. Re-188을 콜로이드에 표지 하여 사용하면 치료부위 밖으로의 누출

이 거의 없을 것으로 예상할 수 있으나 동물실험 등을 통한 정확한 데이터가 필요하다. 또 한 모형실험과 필름 선량측정법으로 실측하여 계산 값과 비교하여 볼 필요가 있다고 생각한다. 치료부위 외의 다른 장기와 전신에의 흡수선량을 계산하여야 하며 방사성활액막절제술을 시행한 환자를 선원으로 고려하여 주위 사람들에 대한 방사선 방호 관점의 규정이 확립되어야 한다.

5. 결론

Re-188의 흡수선량 분포는 Re-188을 방사성활액막절제술용 방사성 의약품으로 사용할 때 주사량을 정하는 자료로 유용하게 쓰일 수 있다고 생각한다.

6. 참고문헌

1. Deutch E, Brodack JW, Deutsch KF. Radiation synovectomy revisited. *Eur J Nucl Med* 1993;20:1113-1127
2. Nelson WR, Hirayama H, Rogers DWO. *The EGS4 code system*. Stanford Linear Accelerator Center. 1985
3. Husak V, Wiederman M, Kral M. Absorbed dose due to beta rays from radioactive colloids in radiation synovectomy. *Phys Med Biol* 1973;18:848-854
4. Gumpl JM, Beer TC, Crawley JC, Farran HE. Y-90 persistent synovitis of the knee. *Br J Radiol* 1975;48:377-381

