2001 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

Re-188을 이용한 재협착 치료에서 몬테칼로 방법을 이용한 선량 분포 계산

Dose Distribution Calculation Using Monte Carlo Simulation in Balloon Filled with Re-188 to Prevent Restenosis

백 미 영, 김 종 경
한양대학교 원자력공학과

요 약

방사성 동위원소를 이용한 조사 치료는 관상동맥 확장 성형술(PTCA) 후 발생하는 신생내피 재협착 정도를 크게 줄여줄 수 있다. 이에 대해 몇 가지의 동물 실험이 행해졌고 베타선을 방출하는 동위원소를 이용한 치료가 주로 이루어지고 있다. 최적의 치료를 위해서는 정확한 선량을 계산할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 베타선을 방출하며 임상에서 많이 쓰고 있는 Re-188을 이용한 풍선 치료에서 몬테칼로 방법을 이용하여 주변 조직에 전달되어지는 선량을 계산하였다. 계산에 이용된 방법은 일반적으로 임상에서 사용하고 있는 1.5 mm에서 4.0 mm까지 6가지의 직경과, 30 mm의 길이를 가진 풍선들에 대해 EGSnrc 시스템을 이용하여 선량 분포를 계산하였다. 풍선을 원통으로 가정하였을 때, 축방향으로 1 mm 간격으로 반경 방향으로 0.1 mm 간격으로 구간을 나누어 선량 분포를 구하였다. MCNP와 비교하여 유의한 값으로 평가되었고, 임상에 사용에 매우 유용하게 이용될 값으로 기대된다.

Abstract

Intraluminal irradiation of coronary is able to reduce the resteosis of neointimal hyperplasia after percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA). Several animal studies have done therapy using beta-emitter radionuclides. It is necessary to calculate the absorbed dose accurately in order to appropriate therapy. Therefore we have investigated dose calculation using Monte Carlo method in this study. Balloons from 1.5 mm to 4.0 mm diameter were modeled. They were assumed to be of length 30 mm. We had calculated absorbed dose using EGSnrc code system, and then evaluated that using MCNP4B. There is no significant difference between the absorbed doses from each code. We could calculate appropriate irradiation time by using of dose distribution.

1. 서론

많은 관상동맥 질환을 가진 환자들이 경피경관관상동맥성형술(PTCA, percutaneous transluminal coronary angioplasty) 치료를 받고 있다. 관상동맥 성형술은 풍선확장도자를 대퇴 동맥 혹은 장골 동맥에서 대동맥으로 이어지는 폐쇄 관상 동맥에 삽입하는 시술을 수반한다.[1] 그러나, 이러한 치료의 가장 큰 단점은 6달 안에 40~60% 정도의 재협착 현상이 발생한다는 것이다.[2] 이러한 재협착을 막기 위하여 다양한 방법들이 사용되고 있다. 초기에 스텐트를 이용한 방법이 적용되었다. 그러나, 스텐트는 재협착을 완전히 제거하지 못하고, 작은 혈관 혹은 긴 병변에서는 상대적으로 재협착 비율이 높은 걸로 나타났다.[3]그 후 임상실험의 결과 일반적으로 58%정도의 재협착 정도가 혈관 내 감마선의 조사 후 17%로 감소되어짐을 보였다.[4] 최근에는 혈관 두께처럼 낮은 깊이에 균일하게 조사할 수 있는 베타선 방출 선원이 유용하게 평가 되고 있으며, Re-188 ($E_{\beta max}$ =2.12 MeV, $T_{1/2}$=16.9 hr)은 이에 매우 적합한 물질 중 하나이다.[5] Re-188을 이용한 관상동맥 치료는 임상에서 실제 시술 되고 있으며, 이 때 최적의 선량을 조사하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구는 이를 위해 몬테칼로 방법을 이용하여 거리에 따른 선량을 계산하고, 최적의 선량을 전달하기 위한 조사 시간을 구하고자 하였다.

2. 방법

Re-188로 채워진 풍선에서 몬테칼로 방법인 EGSnrc 코드 시스템을 이용하여 거리에 따른 흡수 선량을 계산하였다.[6] 풍선의 크기는 실제 치료에 이용되고 있는 길이가 30 mm 이고, 직경이 1.5 mm 부터 4 mm까지 6개의 풍선에 대해 원통형의 모형으로 가정하여 계산하였다. 풍선은 중심에 0.5 mm 의 직경을 가진 카테터를 포함하며 풍선벽의 두께는 0.03 mm이다. (그림 1) 풍선의 표면으로부터 방사 방향으로 0.1 mm 간격으로 2.3 mm의 거리까지 구간을 나누었고, 축상으로 1 mm 간격으로 구간을 나누어 각 영역에 전달되어지는 평균 흡수 선량을 계산하였다. 계산에 사용된 물질은 표1과 같은 조성비로 구성되었다.

풍선 내부가 3700 MBq/ml의 Re-188 용액으로 채워졌다고 가정할 때, 일반적으로 적절한 조사 선량으로 알려져 있는 18 Gy의 에너지가 전달되기 위해 필요한 조사 시간을 계산하였다. 이 때의 조사 시간은 다음과 같이 설명되어질 수 있다.[7]

$$\boldsymbol{Time}[\mathrm{sec}] = \frac{18\boldsymbol{Gy}}{3700\times10^{6}[\boldsymbol{Bq/ml}]\times\boldsymbol{Volume}[\boldsymbol{ml}]\times\boldsymbol{Dose}[\boldsymbol{Gy/d}]} \qquad (1)$$

그림 1. Re-188로 채워진 풍선의 모식도

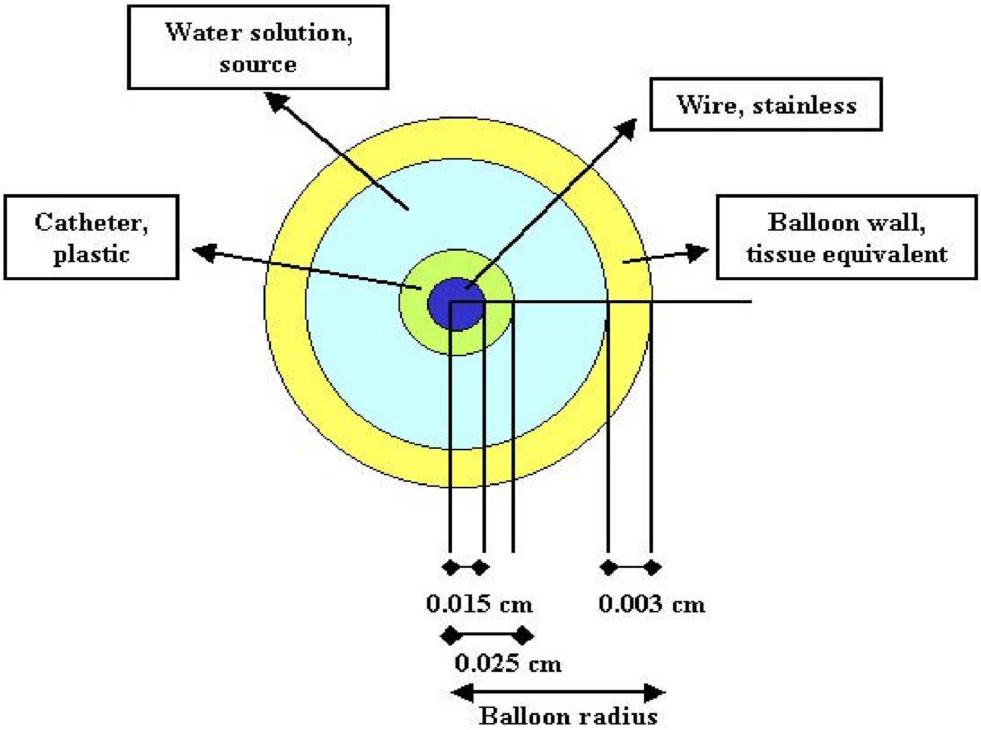

표 1. 계산에 이용된 매질의 성분 조성비 (weight %)

Element	Wire	Catheter	Water	Soft tissue
H	--	8.88	11.2	10.45
C	0.1	--	--	22.66
N	--	--	--	2.49
O	--	76.61	88.8	63.52
Na	--	--	--	0.112
Mg	--	--	--	0.013
Si	--	--	--	0.030
P	--	--	--	0.134
Ba	--	11.78	--	0.134
S	--	2.74	--	0.204
Cl	--	--	--	0.133
K	--	--	--	0.208
Ca	--	--	--	0.024
Cr	19.0	--	--	--
Fe	71.9	--	--	0.005
Ni	9.0	--	--	--
Zn	--	--	--	0.003
Rb	--	--	--	0.001
Zr	--	--	--	0.001
Density(g/cc)	7.80	1.64	1.00	1.04

3. 결과

EGSnrc 코드를 이용하여 6개의 풍선에 대하여 풍선 표면으로부터 거리에 따른 흡수 선량 (Gy/d)을 구하여 표. 2에 나타내었다. 이 값은 풍선 표면으로부터 거리에 따라 지수적으로 감소하는 결과를 보였다(그림 2). 그리고, 그림 3에서 풍선의 표면으로부터 일정 거리에서 선량의 분포를 3차원으로 표현하였다. 풍선의 중심에서는 거의 일정한 선량을 갖지만 양 끝에서는 급격히 선량이 떨어지는 현상을 보인다. 임상에서 적절한 조사량을 주기 위하여 앞에서 정의했던 식에서 3700 MBq/ml의 Re-188이 채워진 풍선으로부터 각 거리에서 18Gy의 선량이 조사되기 위해 필요한 조사 시간을 계산하여 표 3에 나타내었다.

표 2. EGSnrc 코드를 이용하여 계산된 각 풍선의 거리에 따른 흡수 선량 (Gy/d)

Diameter (mm) / Distance (mm)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.05	3.27E-10	2.35E-10	1.78E-10	1.41E-10	1.14E-10	9.39E-11
0.15	2.66E-10	1.96E-10	1.52E-10	1.21E-10	9.88E-11	8.21E-11
0.25	2.24E-10	1.69E-10	1.32E-10	1.06E-10	8.73E-11	7.27E-11
0.35	1.92E-10	1.47E-10	1.17E-10	9.43E-11	7.79E-11	6.49E-11
0.45	1.67E-10	1.30E-10	1.04E-10	8.44E-11	6.97E-11	5.83E-11
0.55	1.47E-10	1.16E-10	9.28E-11	7.57E-11	6.28E-11	5.26E-11
0.65	1.31E-10	1.03E-10	8.34E-11	6.82E-11	5.67E-11	4.76E-11
0.75	1.17E-10	9.26E-11	7.51E-11	6.16E-11	5.14E-11	4.31E-11
0.85	1.04E-10	8.32E-11	6.77E-11	5.57E-11	4.66E-11	3.93E-11
0.95	9.38E-11	7.51E-11	6.13E-11	5.06E-11	4.23E-11	3.57E-11
1.05	8.44E-11	6.79E-11	5.56E-11	4.60E-11	3.85E-11	3.26E-11
1.15	7.61E-11	6.15E-11	5.04E-11	4.19E-11	3.51E-11	2.97E-11
1.25	6.89E-11	5.58E-11	4.60E-11	3.81E-11	3.21E-11	2.71E-11
1.35	6.24E-11	5.08E-11	4.18E-11	3.48E-11	2.92E-11	2.47E-11
1.45	5.66E-11	4.62E-11	3.80E-11	3.18E-11	2.66E-11	2.25E-11
1.55	5.15E-11	4.21E-11	3.46E-11	2.89E-11	2.42E-11	2.05E-11
1.65	4.69E-11	3.83E-11	3.15E-11	2.63E-11	2.21E-11	1.87E-11
1.75	4.25E-11	3.48E-11	2.87E-11	2.40E-11	2.01E-11	1.71E-11
1.85	3.85E-11	3.16E-11	2.61E-11	2.18E-11	1.83E-11	1.55E-11
1.95	3.48E-11	2.85E-11	2.35E-11	1.97E-11	1.65E-11	1.40E-11
2.05	3.13E-11	2.55E-11	2.11E-11	1.76E-11	1.48E-11	1.25E-11
2.15	2.76E-11	2.25E-11	1.86E-11	1.55E-11	1.30E-11	1.11E-11
2.25	2.31E-11	1.89E-11	1.55E-11	1.29E-11	1.09E-11	9.21E-12

그림 2. 풍선 표면으로부터 거리에 따른 선량의 분포

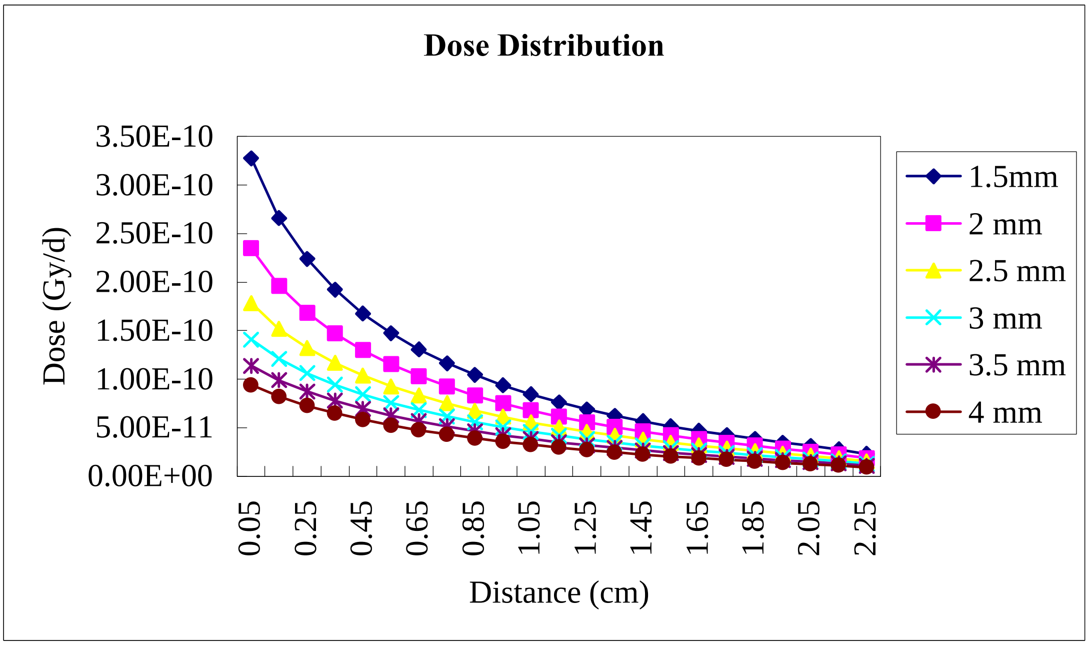

그림 3. Re-188로 채워진 풍선 주변의 3차원 선량 분포

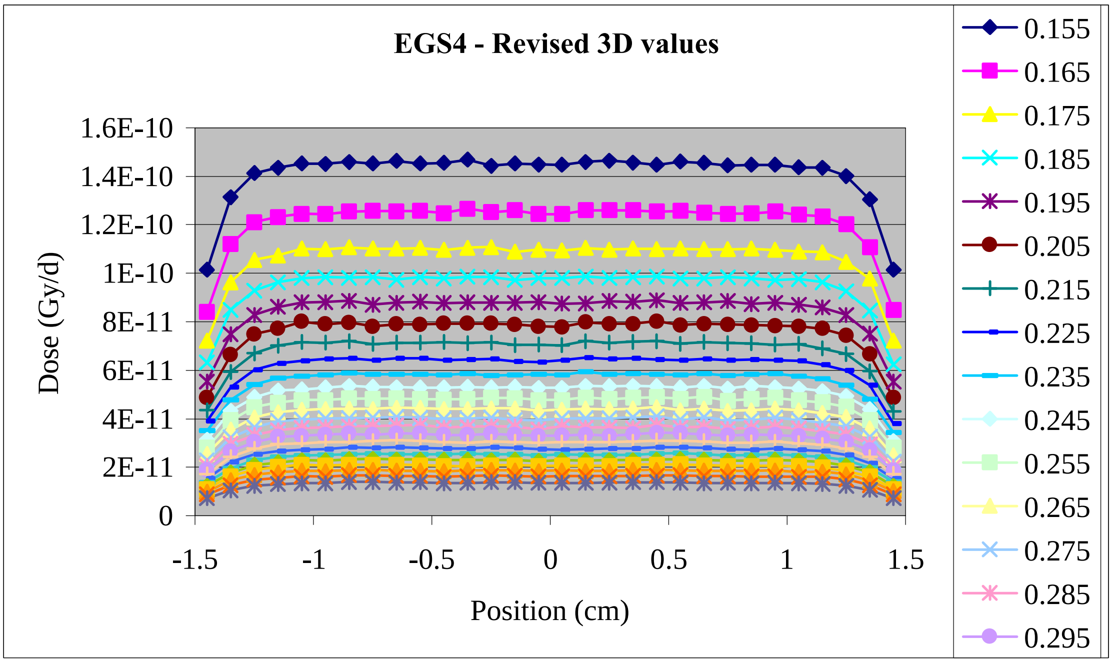

표 3. 3700MBq/ml의 Re-188 source로부터 18Gy 선량이 전달되는데 필요한 조사 시간

Diameter	1.5mm	2 mm	2.5 mm	3 mm	3.5 mm	4 mm
Distance(cm)			Time(sec)			
0.05	346	250	203	174	157	144
0.15	426	299	238	203	180	165
0.25	506	348	274	232	204	186
0.35	589	399	310	261	229	208
0.45	676	452	349	291	256	232
0.55	768	508	390	325	284	257
0.65	867	569	434	361	314	284
0.75	971	634	482	400	347	314
0.85	1084	707	534	442	383	344
0.95	1207	782	591	486	421	378
1.05	1341	865	652	535	463	415
1.15	1487	956	718	587	508	455
1.25	1644	1054	788	645	556	498
1.35	1816	1157	866	708	610	547
1.45	2000	1272	952	774	669	600
1.55	2199	1397	1046	850	736	658
1.65	2417	1534	1148	934	806	722

1.75	2667	1690	1261	1027	886	792
1.85	2942	1861	1388	1131	974	873
1.95	3256	2061	1540	1251	1080	967
2.05	3623	2306	1717	1394	1203	1079
2.15	4102	2608	1943	1585	1366	1220
2.25	4911	3117	2338	1905	1642	1468

4. 고찰

계산된 선량 분포 유의성을 평가하기 위하여 같은 조건으로 Michael G. Stabin이 MCNP4B를 이용하여 계산한 결과와 비교하였다.[8] 비교 결과 풍선 표면으로부터 멀리 떨어진 지점을 제외하고 두 계산 값 사이의 상대 오차가 대략 <5%로 매우 근사한 값을 보였다. 3 mm 직경의 풍선에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

표 4. 3 mm 직경의 풍선에서 EGS에 의한 값과 MCNP에서의 값의 상대 오차(%)

	MCNP4B	EGSnrc	Relative Error
Diameter	3 mm	3 mm	(%)
Distance(mm)			
0.05	1.423E-10	1.41E-10	-0.93
0.15	1.201E-10	1.21E-10	0.89
0.25	1.049E-10	1.06E-10	1.13
0.35	9.320E-11	9.43E-11	1.21
0.45	8.268E-11	8.44E-11	2.07
0.55	7.374E-11	7.57E-11	2.60
0.65	6.615E-11	6.82E-11	3.00
0.75	5.973E-11	6.16E-11	2.99
0.85	5.432E-11	5.57E-11	2.42
0.95	4.892E-11	5.06E-11	3.35
1.05	4.436E-11	4.60E-11	3.57
1.15	4.045E-11	4.19E-11	3.41
1.25	3.691E-11	3.81E-11	3.26
1.35	3.337E-11	3.48E-11	4.00
1.45	3.030E-11	3.18E-11	4.65
1.55	2.748E-11	2.89E-11	5.02
1.65	2.523E-11	2.63E-11	4.21
1.75	2.287E-11	2.40E-11	4.51
1.85	2.068E-11	2.18E-11	4.93
1.95	1.901E-11	1.97E-11	3.32
2.05	1.702E-11	1.76E-11	3.52
2.15	1.533E-11	1.55E-11	1.20
2.25	1.394E-11	1.29E-11	-7.93

그림 3. 3 mm 직경의 풍선에서 거리에 따른 MCNP와 EGS의 선량 비교

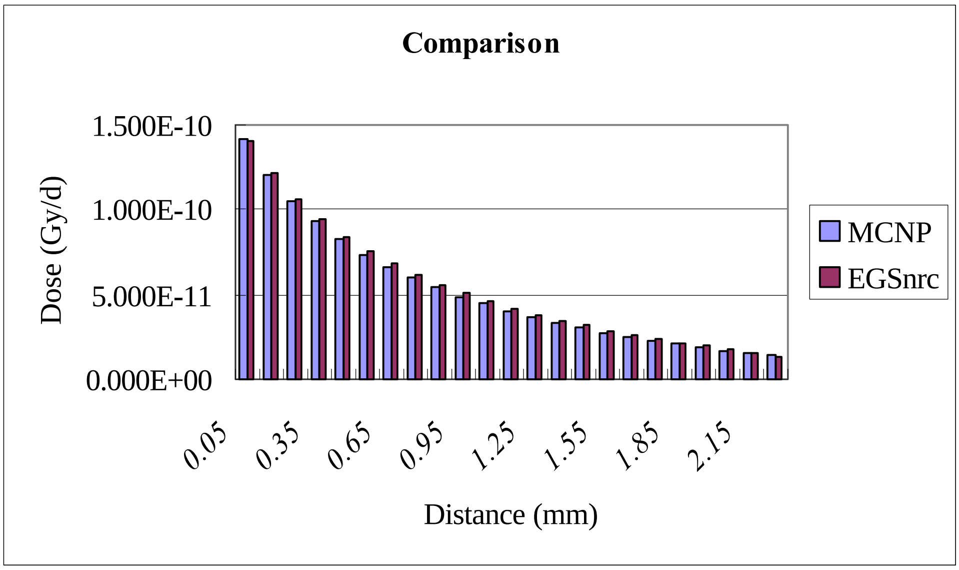

그림. 3처럼 풍선 주변의 선량 분포의 양 끝에서 선량의 값이 급격히 떨어지는 현상이 발생하는 걸 볼 수 있다. 이러한 선량 분포는 실제 치료에서 중심과 양 끝 사이의 오차를 고려해 주어야 할 부분이라 생각한다.

조사 시간의 계산에서는 먼저 동위원소의 단위 체적당 방사능 양이 얼마인지를 고려해야 한다. 표. 3에서 볼 수 있듯이 풍선의 크기가 증가하면 사용하는 방사능 양이 증가하므로 적은 시간에 원하는 선량을 조사할 수 있다.

Acknowledgement : 본 연구는 한국과학재단에서 지원한 우수연구센터인 방사선안전신기술연구센터의 지원으로 수행되었다.

5. 참고 문헌

1) Almos H I, Reinstein LE, Weinberger J. Dosimetry of a radioactive coronary balloon dilatation catheter for treatment of neointimal hyperplasia. *Med Phys* 1996;23:1783-1788.

2) Kotzerke J, hanke H, Hoher M. Endovascular brachytherapy for the prevention of restenosis after angioplasty. *Eur J Nucl Med* 2000;27:223-236.

3) Janicki C, Duggan DM, Coffey CW, Fischell DR, Fischell TA. Radiation dose from a phosphorous-32 impregnated wire mesh vascular stent. *Med Phys* 1997;24:437-445

4) Amols HI, Trichter F, Weinberger J. Intracoronary Radiation for Prevention of Restenosis Dose Perturbations Caused by Stents. *Circulation* 1998;98:2024-2029.

5) Knapp F. F. Jr. Rhenium-188-A Generator-Derived Radioisotope for Cancer Therapy. *Cancer Biotherapy & Radiophamaceuticals* 1998; 13:337-349

6) Kawarakow I., Rogers D. W. O. The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron

and Photon Transport. NRCC Report PIRS-701, 2000.
7) Stabin M.G., Konijenberg M., Knapp F.F. Jr. Monte Carlo modeling of radiation dose distributions in intravascular radiation therapy. Med. Phy 2000;27:1086-1092 (ftp.orau.gov/vessel)
8) Michael G. Stabin, Vanderbilt University, USA. (Private Contact)