

수술 중 방사선치료시 전자선 조사면의 선량분포 개선

고려대학교 의료원 안암병원 방사선종양학과

이상록, 이병구, 권영호

1. 서론

방사선 치료에 의한 악성종양의 치료는 눈부시게 발전해 왔으며 IORT 역시 치료가능비(therapeutic ratio)를 향상시키기 위해 시도되었다.⁽⁴⁾

IORT는 전자선을 이용해 종양부위에 cone을 밀착하여 주위 정상조직에 장애 없이 15~30Gy의 고선량을 1회 조사하여 치료하는 방법으로 복강내 등 체내 깊숙한 부위의 치료에 적합하고, 수술 중 조사되는 부위를 눈으로 확인해 선택적으로 조사면의 위치 조정이 가능하다. 생물학적으로는 단일 고선량을 사용하기 때문에 분할조사보다 cGy당 생물학적 효과가 2~2.5배 정도 더 크고 정상조직이 방사선 조사면에서 제외되어 부작용이 현저하게 감소되므로 상대적인 치료효과가 상당히 개선된다.⁽⁵⁾ 전자선 에너지는 9~20MeV의 범위에서 이용되고 두랄루민, 아크릴등이 cone의 재료로서 사용된다.

IORT를 실시할 때는 다음의 중요한 사항을 고려해야 한다. 첫째, 모든 장비를 갖춘 외과적 수술실에서 수술이 시행되어야 한다. 둘째, 감염방지를 위해 치료실과 수술실의 거리는 가까워야 한다. 셋째, 치료실도 수술실과 똑같이 소독된 상태라야 한다는 것이다.⁽⁵⁾

두 번째 항목은 이미 방사선 종양학과가 설치되어 있는 기존의 병원에서는 수술실과 치료실의 거리가 정해져 있는 상태로 인하여 치료실 주변에 추가부담으로 수술실을 만들어야 하는 어려움이 있다. 본원에서는 치료실 옆에 수술실을 설계하여 두 번째 항목

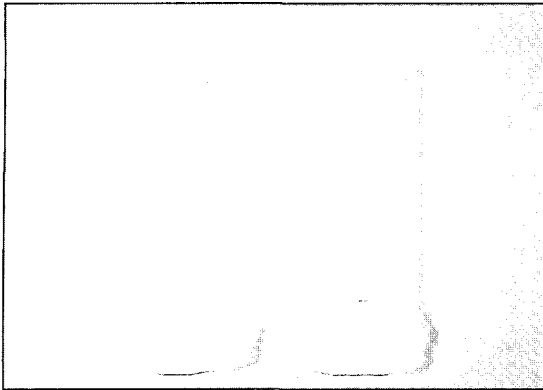
을 충분히 만족시켰으며 1993년 9월 IORT를 시작하여 연평균 10회 정도의 치료를 실시하여 2001년 9월 현재 110회를 시행하였다.

그러나 IORT시 cone의 크기와 모양으로 규정되는 조사면의 주변부 선량이 중심부에 비해 과다하게 조사되는 현상을 접하게 된다.⁽²⁾ 이는 cone끝이 치료표면에 직접 닿는 기하학적구조에서 오는 현상으로 산란선에 의한 표면선량의 증가, 특히 cone이 조직과 직접 맞닿은 주변부의 표면선량은 중심부에 비해 과다해 질 수밖에 없다. 본 연구에서는 이를 효과적으로 제거하기 위한 방법을 모색해 보고자 한다.

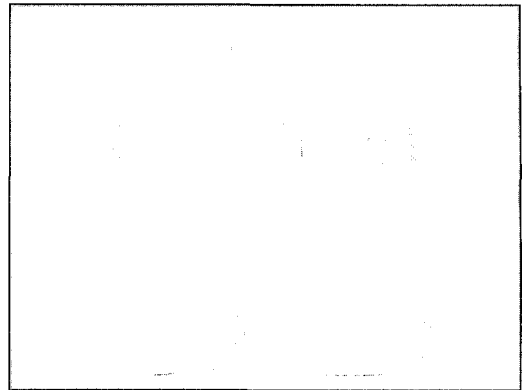
2. 재료 및 방법

- Clinac 1800(E-beam : 6, 9, 12, 16, 20MeV)
- Film dosimeter(Multidata film dosimetry system)
- Kodak X-Omat V film
- IORT cone(지름 9cm circle type straight ended cone, 30° beveled cone)
- Al ring (density : 2.69g/cm³, thickness : 2mm, height : 2, 4, 7cm)

산란선 제거를 위해 사용하는 ring은 다른 물질보다 밀도가 적당하고 가공이 용이한 Al을 이용하였고 ring의 두께는 두꺼워 질수록 hot spot은 감소하지만 실제 조사면의 직경이 줄어들게 되어 의미가 없으므로 2mm두께로 통일하였다.⁽⁶⁾ cone에 의해 만들어지는 산란선을 효과적으로 제거하기 위해 높이가 다른 Al ring을 만들어 cone내부에 삽입하고 그 위치를



IORT cone - without ring



IORT cone - Al ring

조정하여 산란선에 의한 조사면 주변부의 영향을 최소화 할 수 있는 위치와 ring의 높이를 결정하였다. ring 삽입위치를 cone끝을 기준으로 하여 0, 3, 5, 7cm 깊이로 이동시켰다.

측정 에너지는 주로 이용되는 12, 16MeV의 전자선을 이용하였고 실험 중이므로 전체 cone을 측정하지 않고 가장 많이 이용되는 9cm 지름의 직각과 경사진 모양의 cone을 대상으로 하였다.

X-Omat V film에 SSD를 100cm으로 고정하여 film dosimetry에 적당한 density을 얻기 위해 120MU로 조사하였고 이를 토대로 beam profile을 작성하였다.

그림 1과 2는 mechanical axis, clinical axis와 등선

량 곡선을 나타낸 그림이다.

mechanical axis는 실제 cone의 axis를 말하며 clinical axis는 치료 field의 axis를 말한다.⁽¹⁰²⁾

그림 1에서는 mechanical axis와 clinical axis가 일치함을 알 수 있고, cone 주변부의 산란선에 의한 hot spot정도도 좌우가 거의 동일함을 알 수가 있다.

그림 2와 같이 경사진 cone의 경우는 실제 눈으로 종양을 확인하며 cone을 삽입하므로 cone 끝에 포함되는 치료부위는 clinical axis로 결정되는 면일 수밖에 없다. 그래서 mechanical axis와 clinical axis가 차이가 나게 되고 그 차이가 바로 사용하고자 하는 cone의 angle로 결정된다. cone의 길이의 차로 인해서 가까운 곳에선 hot spot 정도가 더 크게 됨을 알 수가 있다.⁽¹⁰⁰⁾

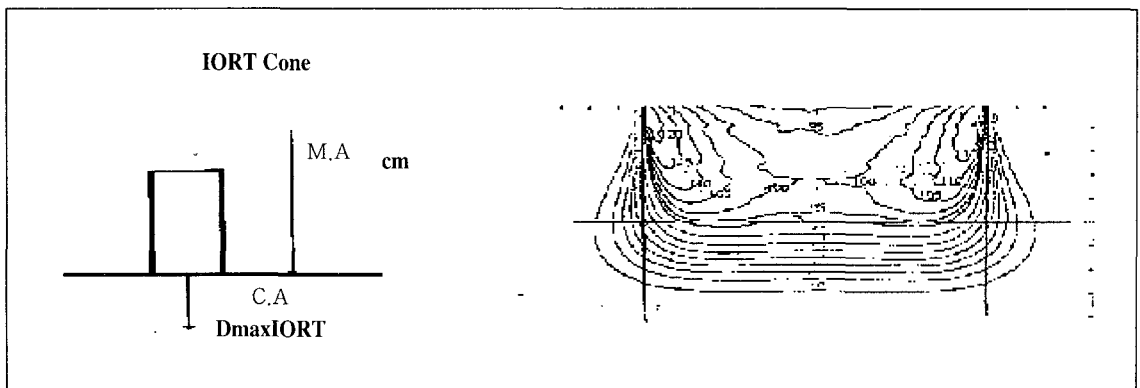


그림 1-straight ended cone

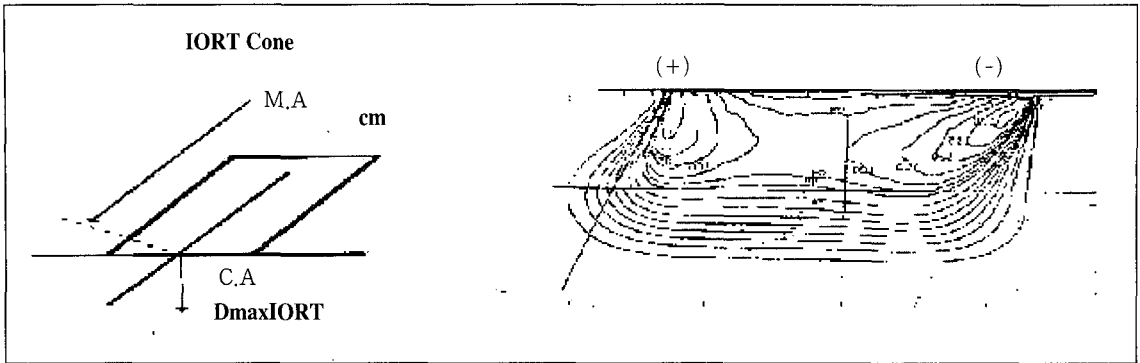


그림 2-beveled cone

3. 결과

먼저 산란선을 효과적으로 제거하기 위한 ring의 길이를 결정하기 위해 height가 2, 4, 7cm의 Al ring을

cone 끝(depth 0cm) 위치에 삽입 후 측정된 결과이다. 중심축과 주변부 선량을 서로 비교하기 위해 중심축 선량을 100으로 환산해 주변부의 hot spot 정도와 flatness를 비교해 보았다.

표1

12MeV straight ended cone				
ring height	peripheral	central axis	peripheral	flatness(%)
without ring	110.3	100		5.01
2cm	105.4	100		3.03
4cm	103.8	100		1.92
7cm	102.9	100		1.86

12MeV 30° beveled cone				
ring height	peripheral(-)	central axis	peripheral(+)	flatness(%)
without ring	111.1	100	110.6	4.41
2cm	107.9	100	102.9	4.06
4cm	108.4	100	100.9	4.79
7cm	107.8	100	101.9	4.24

16MeV straight ended cone				
ring height	peripheral	central axis	peripheral	flatness(%)
without ring	110.2	100		4.84
2cm	109.4	100		4.56
4cm	108.4	100		4.18
7cm	105.9	100		2.89

16MeV 30° beveled cone				
ring height	peripheral(-)	central axis	peripheral(+)	flatness(%)
without ring	108.4	100	107	4.08
2cm	107.6	100	102.8	3.96
4cm	105.1	100	102.2	3.23
7cm	106.5	100	99.9	3.92

표 1에서 보는 바와 같이 중심축과 비교한 주변부의 선량이 12MeV straight ended cone일 경우 ring을 사용하지 않았을 때 10.3%로 측정되었고, 2cm 높이의 ring 사용 시 5.4%, 4cm시 3.8%, 7cm시 2.9%로 주변부의 hot spot이 감소됨을 알 수 있다.

30° 경사진 cone의 경우는 cone끝의 길이가 차이가 나기 때문에 길이가 짧은 쪽(-)은 상대적으로 ring에서 cone끝까지의 거리도 가까워지므로 ring을 사용하지 않았을 때 11.1%, ring의 높이에 따라 7.9%, 8.4%, 7.8%로 hot spot이 감소됨을 알 수 있다.

그러나 길이가 긴 쪽(+)은 ring을 사용하지 않았을 때 10.6%, ring의 높이에 따라 2.9%, 0.9%, 1.9%로 hot spot이 감소됨을 알 수 있다. 이러한 양상은 16MeV에서도 동일하게 나타남을 알 수 있다.

그림 3에서 보는 바와 같이 4cm 높이의 ring을 사용하였을 때 flatness와 주변부의 hot spot정도가 가장 양호함을 알 수 있다. 7cm 높이의 ring은 hot spot은

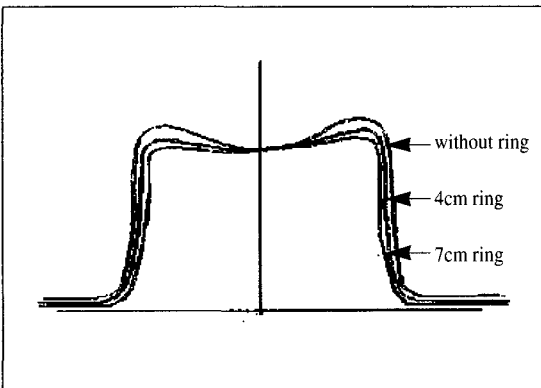


그림 3 - 12MeV straight ended cone dose profile

줄었으나 beam profile에서 확인하면 그 분포가 넓게 분포함을 알 수 있었다.

다음으로 표1에서 측정된 가장 적절한 높이인 4cm ring을 가지고 cone끝에서 Al ring이 위치한 곳까지의 거리를 0, 3, 5, 7cm 이동시키면서 중심부와 주변부의 선량을 비교한 결과이다.

표 2에서 보는 바와 같이 4cm ring을 가지고 측정 한 결과 12MeV straight ended cone일 경우 cone 끝에서 Al ring까지의 거리가 depth 0cm에서 7.5%, 3cm에서 3.4%, 5cm에서 4%, 7cm에서 3.1%로 산란선에 의한 주변부의 선량증가가 감소됨을 확인할 수 있었다. cone 끝에서 Al ring까지의 거리가 depth 4cm에서 flatness와 주변부의 hot spot정도가 가장 양호함을 알 수 있다.

30° 경사진 cone의 경우는 길이가 짧은 쪽(-)은 depth 0cm에서 6.4%, 3cm에서 6.9%, 5cm에서 5.5%, 7cm에서 4.9%이고 길이가 긴 쪽(+)은 depth 0cm에서 1.5%, 3cm에서 1.4%, 5cm에서 2.9%, 7cm에서 3%로서 cone끝에서의 depth가 멀어짐에 따라 주변부의 선량이 약간씩 증가하였고 flatness는 개선됨을 알 수 있다. 그러나 여기서의 선량증가는 ring을 삽입하지 않았을 때에 비해서는 최대 9.6%, 최소 7.1%가 감소된 선량이다. 이러한 양상은 16MeV에서도 동일하게 나타남을 알 수 있다.

4cm 높이의 ring을 사용하였을 때 cone끝에서 ring까지의 거리가 depth 5cm에서 flatness와 주변부의 hot spot정도가 가장 양호함을 알 수 있다. 7cm 높이의 ring은 hot spot은 줄었으나 beam profile에서 확인

표2

12MeV straight ended cone				
depth	peripheral	central axis	peripheral	flatness(%)
0cm	107.5	100		3.75
3cm	103.4	100		3.08
5cm	104	100		2.10
7cm	103.1	100		2.22

12MeV 30° beveled cone				
depth	peripheral(-)	central axis	peripheral(+)	flatness(%)
0cm	106.4	100	101.5	3.68
3cm	106.9	100	101.4	3.57
5cm	105.5	100	102.9	3.53
7cm	104.9	100	103	2.44

16MeV straight ended cone				
depth	peripheral	central axis	peripheral	flatness(%)
0cm	112.2	100		5.84
3cm	106.0	100		4.19
5cm	104.8	100		2.76
7cm	104.6	100		2.44

16MeV 30° beveled cone				
depth	peripheral(-)	central axis	peripheral(+)	flatness(%)
0cm	105.3	100	100.2	2.84
3cm	104.4	100	101.9	2.57
5cm	102.6	100	100.8	1.73
7cm	102.6	100	100.7	2.09

하면 그 분포가 넓게 분포함을 알 수 있었다.

표 3은 Al ring을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 IORT cone의 electron beam parameter를 측정하여 Al ring을 사용하였을 때 scatter 영향이 줄어들어 surface dose가 12MeV without-ring straight

ended cone에서는 93.2%이고 4cm ring straight ended cone(depth 5cm)일 때는 surface dose가 89.1%로 surface dose는 4.1% 감소함을 알 수 있다. 16MeV에서는 3.1% 감소하였다.

30° 경사진 cone의 경우도 같은 양상을 보였다.

표3

energy	R100(dmax)	R90	R80	R50	Rp	Ds(%)
without-ring straight ended cone						
12MeV	2.1	3.2	3.6	4.3	5.2	93.2
16MeV	1.9	4.4	5.0	5.9	7.0	93.3
without-ring 30° beveled cone						
12MeV	0.9	2.5	3.0	3.8	4.9	88.7
16MeV	1.4	3.4	4.0	5.1	6.5	90.4
4cm ring straight ended cone (depth 5cm)						
12MeV	1.5	3.17	2.55	4.25	5.16	89.1
16MeV	1.9	4.15	4.74	5.68	6.89	90.2
4cm ring 30° beveled cone (depth 5cm)						
12MeV	1.0	2.45	2.94	3.84	5.01	86.7
16MeV	2.1	3.6	4.22	5.26	6.63	88.7

4. 결론

IORT cone의 모양과 크기로 결정되는 조사면 주변부 과다선량을 2, 4, 7cm 길이의 Alring을 이용하여 cone끝에서 0, 3, 5, 7cm깊이로 위치를 조정하여 측정 한 결과 ring의 높이 4cm ,depth 5cm일 때 12MeV straight ended cone에서 최대 6.3%, 30° beveledcone경사진 cone에서는 최대 7.4%까지 산란선에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있었다. 16MeV의 경우는 straight ended cone에서 최대 5.4%, 30° beveled cone에서 6.2%의 감소된 값을 보였다.

7cm ring이 과다선량부분이 넓게 분포되는 이유는 길이가 길어질 수록 cone벽에서 발생하는 산란선이 감소하므로 조사면이 작아지는 것과 같은 효과로서 flatness는 양호해지나 hot spot영역이 넓어지는 양상을 보이게 되는 것이다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

또한 하나의 cone에 Al ring을 고정하여 부착하게 되면 IORT에 사용되는 모든 전자선 에너지에 관계

없이 사용해야 하므로 특정 에너지나 특정 Al ring의 높이에 의한 특정한 상황에서의 최적조건 보다는 전 에너지에 걸쳐 두루 사용할 수 있는 Al ring의 높이와 cone끝에서 거리를 결정하여 4cm높이와 cone끝에서 5cm 떨어진 거리를 선정하게 되었다.

*reference

1. C.E Nyerick, M,S; T.G.Ochran, M.S;A.L.Boyer, PH.D;&K.R.Hogstrom. ph.D Dosimetry Characteristics of Metallic Cones for Intraoperative Radiotherapy. Int. J.Radiat. oncol. Biol. phys. 22:501-510:1991.
2. Edvoim C. McCullough & Joseph A. anderson The dosimetric Properties of an Applicator System for Intraoperative Electron-beam Therapy Utilizing a Clinac-18 accelerator. Med. phys. 9(2):261-268:1982.
3. S. C. Klevenhagen Physics of Electron Beam Therapy.

4. B. A. Fraass, ph. D; R.W.Miller, M.S;T.J.Kinsella, M.D institute: Intraoperative Radiation Therapy at the National Cancer Institute: Technical Innovations and Dosimetry. *Int. J.Radiat. oncol. Biol. phys.* 11:1299-1311:1985.
5. I. Sentenac; J.P.Gerard; N.Salerno;G.de Laroche; X.Montbarbon. Hopital Lyon Sud, Pierre benite, France Intraoperative Radiation Therapy. *Radioterapia e tratta menti integrative C.E.A Casa Editrice ambrosiana Milano* 1988.
6. K.R.Hogstrom, ph,D; A.LBoyer.ph.D; A.S.Shia, ph.D, Design of Metallic Electron Beam Cones for an Intraoperative Therapy Linear Accelerator *Int. J. Radiat. oncol. Biol phys.* 18:1223-1232:1990.
7. M.Sarful Hug, ph.D;Yan Yu, ph.D; M.Mohiaddin, M.D Differential dose delivery using a Nondocking Applicator for Intraoperative Radiation Therapy. *Int. J. Radiat. oncol. Biol. phys.* 37(2):429-433:1997.
8. John D.Hazle, James C.H.Chu & Paula Kennedy. Quality Assurance for Intraoperative Electron Radiotherapy Clinical Trials: Ionization chamber and mailable thermoluminescent dosimeter results *Int.J.Radiat. oncol. Biol. phys.*24:559-563:1992
9. Mitsuyuki Abe, M.D. Intraoperative Radiotherapy- past, Present and Future *Int.J.Radiat. oncol. Biol. phys.* 10:1987-190:1984.
10. Peter J. Biggs, ph.D; Edward R.Epp. ph.D; Dosimetry, Field Shaping and Other Considerations for Intraoperative Electron Therapy *Int. J. Radiat. oncol. Biol. phys.* 7:875-884:1981.
11. Khan. F. M; Clinical Electro-beam Dosimetry:Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No.25 *Med. phys.* 18:73-109:1991.