

## IORT CONE의 선량분포에 관한 연구

김명세, 김성규, 신세원  
영남대학교 의과대학 치료방사선과학교실

### 초 록

수술중 방사선치료는 병소부위를 절제해 난후 회복된 상태에서 정상조직을 조사면적 밖으로 밀어낸 후 국소재발의 위험이 가장 높은 부위에 전자선을 이용하여 한번에 다량의 방사선을 조사하는 방법이다.

수술중방사선치료를 시행하는 병원마다 콘의 모양, 시행방법, 조사선량등이 모두 달라 사용하는 콘의 선량분포 및 치료면적의 범위, 누설선량등은 치료효과의 중요한 지표가 된다.

저자들은 본 교실에서 지금까지 제작한 여러가지 수술중 방사선치료 콘의 선량분포 특성을 비교 검토하였다.

### I. 서 론

방사선 치료의 목표는 종양이 있는 부위에는 암세포의 치사에 충분한 선량을 조사하고 인접 정상부위에는 최소한의 선량이 조사되도록 하여 치료효과를 최대로 하면서 부작용은 최소로 하는데 있다.

지금까지의 위장관의 방사선치료는 주로 외부 방사선치료에 의존하여 왔으므로 주위의 정상 조직의 한계선량 범위인 45-50Gy 범위내에서만 실시해 왔으므로 소화기 암세포의 치사선량인 75Gy 이상의 방사선량에는 크게 미흡하여 암세포의 일정기간 동안의 정지(static) 기능 정도에만 그쳐 방사선 치료에 대한 신뢰도가 낮은 원인이 되었다.

수술중 방사선치료(Intraoperative Radiation Therapy, IORT)는 병소부위를 절제해 난 후 회복된 상태에서 정상조직을 조사면적 밖으로 밀어낸후 국소재발의 위험이 가장 높은 부위에 전자선을 이용하여 한번에 다량의 방사선을 조사하는 방법이다.

국내에서는 1986년에<sup>1)</sup> 연세대학병원에서 위암환자의 IORT를 처음으로 실시하였으나 지속되지 못하고 있는 실정이며, 본원 치료방사선과에서는 1988년 6월에 처음으로 위암 환자의 IORT를 실시하여 현재 50명을 치료하였으며 또한 1991년 5월에는 직장암의 IORT를 처음으로 실시하였다.

일본과 구미 각국에서는 여러 병원에서 IORT를 실시하고 있으나 병원마다 사용하는 cone의 모양, 시행방법, 조사선량등이 모두 달라 사용된 cone의 선량분포도 및 치료면적의 범위, 누설선량등은 치료효과의 중요한 지표가 된다.

이에 저자들은 본 교실에서 지금까지 제작한 여러가지 IORT cone의 선량분포 특성을 비교 검토함으로써 가장 바람직한 위암의 IORT를 유도하고자 하였다.

### II. 재료 및 방법

전자선은 방사선 치료에 있어서 X-선과 더불어 가장 보편적으로 사용되는 선원이다. 전자선의 선량특징을 해석하는데 있어서 1952년에 Glasstone과 Edland에 의한 age diffusion equation이

선구적인 역할을 하였다. 이 식에 대한 컴퓨터 해석이 1975년 Kawachi에 의하여 이루어졌고, 그 후 Brown Roveri가 몇몇 필수 변수를 사용하여 수식화 하였다.

전자선의 흡수선량 D는 다음과 같이 주어진다.

$$D(x, y, z, \tau) = \frac{D_0}{2} \left\{ \left[ \operatorname{erf} \frac{X_0(z) - X}{2(k\tau)^{1/2}} \right] + \left[ \operatorname{erf} \frac{X_0(z) + X}{2(k\tau)^{1/2}} \right] \right\} \\ \times \left[ \operatorname{erf} \frac{Y_0(z) - Y}{2(k\tau)} \right] + \left[ \operatorname{erf} \frac{Y_0(z) + Y}{2(k\tau)} \right] \\ \times \cos [G_1(z/R_p)^2 + G_2(z/R_p) + G_3] \cdot [F/(F+Z)]^2 \\ \times \exp \{ - [ (z \cdot \pi/3R_p) \cdot (k\tau)^2 ] \}$$

여기서  $(k\tau) = [ (C\tau/R_p) + P ]^N$   
 $F = \text{SSD}(\text{source} - \text{skin} - \text{distance})$

$$X_0(z) = 1/2(\text{width} + K_e) \cdot [(F+Z)/F]$$

$$Y_0(z) = 1/2(\text{length} + K_e) \cdot [(F+Z)/F]$$

$R_p$ 는 실용거리이며,  $G_1, G_2, G_3, C, N, P$ 는 에너지에 따라 주어지는 상수들이다.

주어진 식에서 percentage depth dose를 결정하는 인자는

$$\cos \left[ G_1 \left( \frac{Z^2}{R_p^2} \right) + G_2 \left( \frac{Z}{R_p} \right) + G_3 \right] \text{이다.}$$

수술중 방사선치료를 적절하게 시행하기 위해서는 적당한 에너지의 선택과 IORT시 조사선량과 아울러 적합한 cone의 제작이 무엇보다도 중요하므로 저자들은 IORT를 시행하면서 계속 새로운 cone의 제작을 되풀이 하였다. 제작된 IORT cone의 선량분포 특성은 18 MeV 선형 가속기(Linac 1018-1)를 사용하여 6, 9, 12, 15, 18MeV의 에너지에서 0.6cc PTW 이온챔버를 사용하여 측정하였고, 또 코닥 XV-2 film을 사용하여 verification 필름을 만든후 Densitometer(Sakura PDP-5)로 심부백분율을 측정하여 (Victereen, Electrometer 500)비교 검토 하였다.

### III. 성 적

본 교실에서 저자들이 제작한 IORT cone의 변형된 모양은 그림1과 같으며 A는 튼튼하기는 하나 너무 무거워(11kg)취급하기가 매우 불편하였으며, B는 stainless steel로 만들었기 때문에 조사면 내부를 periscope로 보아야 하는 불편함이 있었다. C는 재질이 아크릴로 되어 있어 내부를 볼 수 있는 장점과 선량분포도 좋았으며 tray의 고정도 충분하였으나 shaping block이 cone에 부착되어 있어 소독하는데 어려움이 있었고, D는 소독의 어려움을 해결하기 위하여 제작하였으나 tray의 고정이 불충분하였다. E는 보완이 완료된 cone으로 선량분포, tray의 고정, 소독뿐만 아니라 밀면에 cover가 있어 수술표면의 돌출도 없어 가장 이상적인 cone으로 현재 사용중이다.

divergence cone #1의 선량분포는 91%에서 부터 100%까지 분포하고 있다(그림2). 그 후 개량 제작한 아크릴 스트레이트 IORT cone #4의 선량분포는 97%에서 부터 106%까지 나타내고 있다(그림3).

본원에서 사용하고 있는 shaping block이 tray 윗쪽에 붙어있는 아크릴 스크레이트 IORT cone #6의 선량분포는 100%에서 부터 106%까지 좋은 분포를 나타내고 있으며 임상에 이용되는 치료면과의 각도에 따른 선량분포를 함께 살펴보았다(그림4).

또한 밀면에 덮개가 없을 때 표면선량이 88%밖에 되지 않는데 비해 1.3mm의 아크릴 투명 덮개를

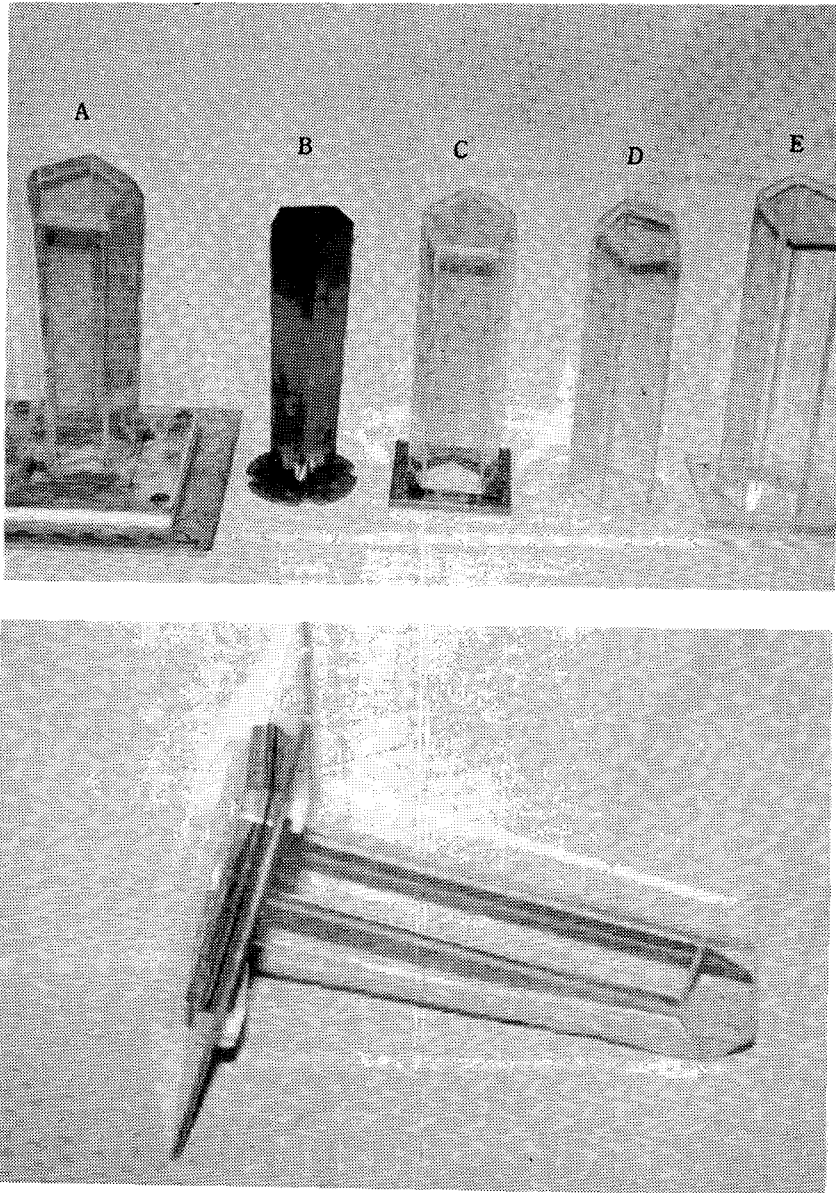


Fig1. Features of IORT cone

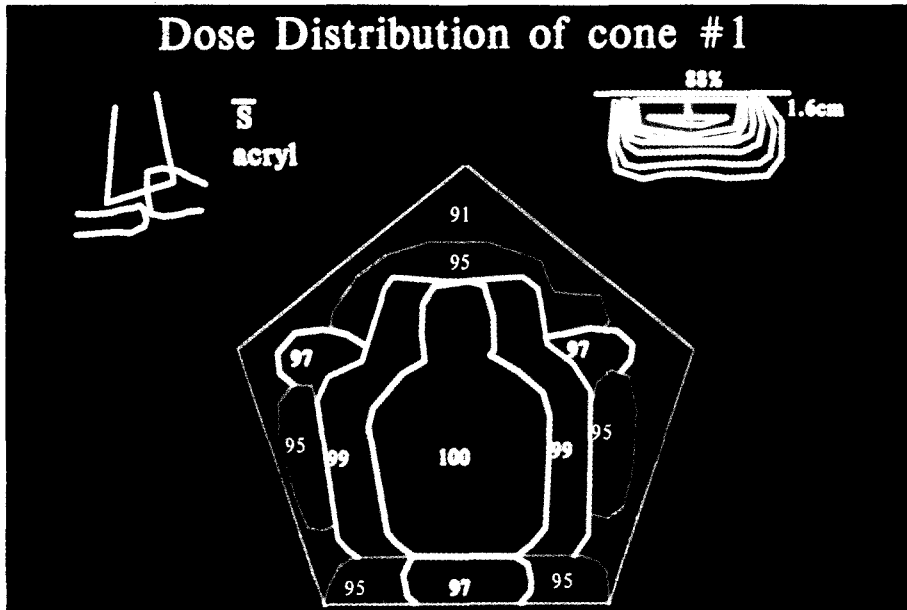


Fig2. Dose Distribution of cone #1

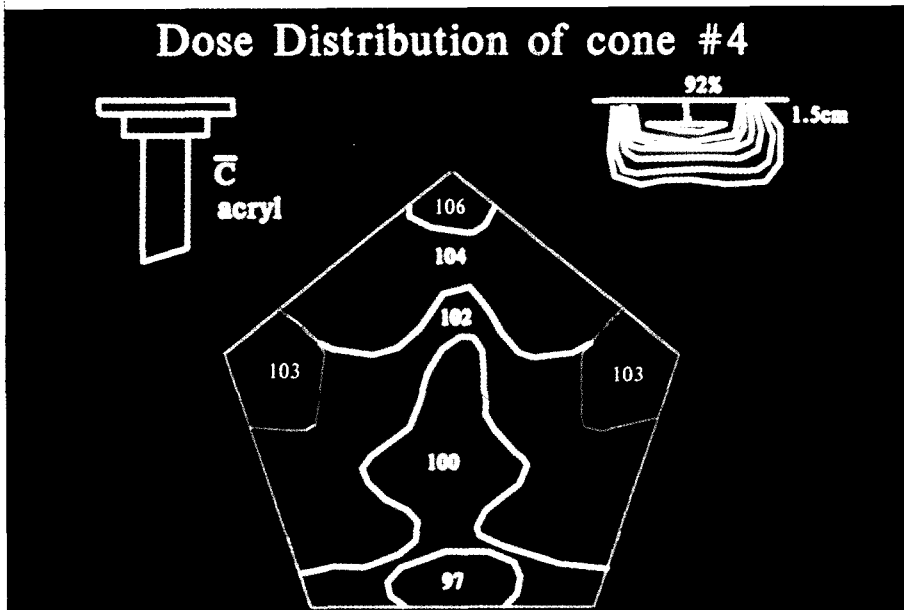


Fig3. Dose Distribution of cone #4

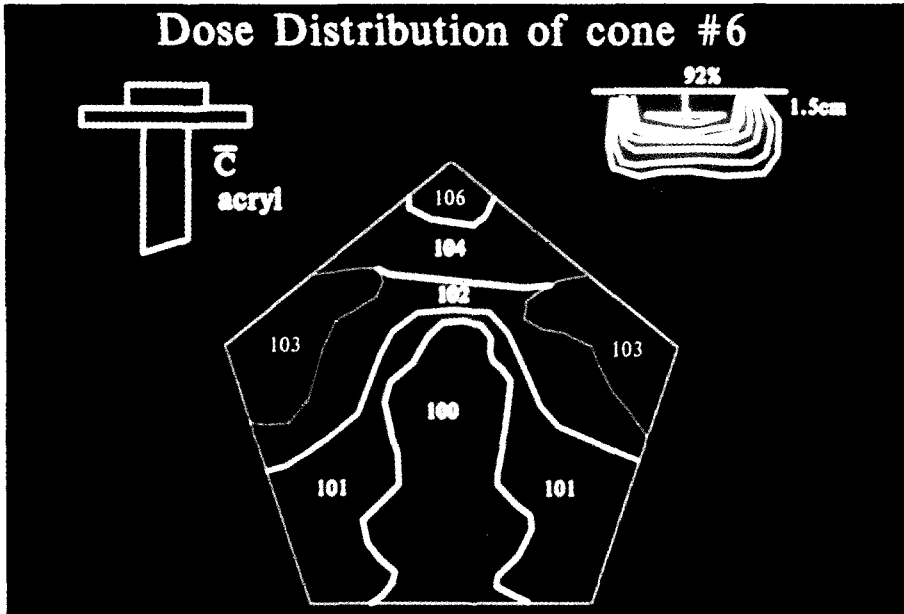


Fig4. Dose Distribution of cone #6

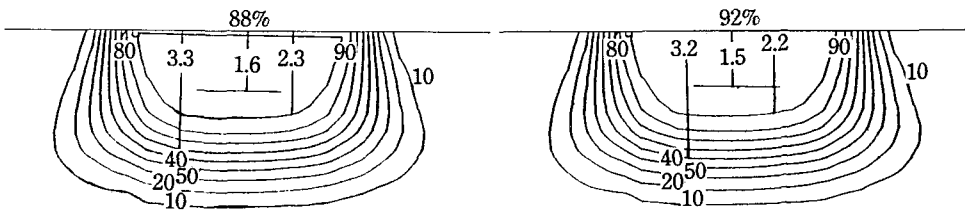


Fig5. Percentage depth dose of 9MeV Electron Beam

붙임으로서 표면이 받는 선량이 92%가 되어 4%의 증가를 보이고 있으며, 선관선에 의한 cone 외부에서의 선량은 2.8%을 나타내었다(그림5).

#### IV. 고 찰

최초의 IORT는 1909년 Beok이<sup>2)</sup> 복강 내 위암을 방사선으로 치료하기 위하여 종양을 abdominal wound 쪽으로 밀어내어 직접 조사하였고, 1915년에 Finisterer는<sup>3)</sup> 최초로 복개된 상태하에서 수술 불가능한 위암을 직접 조사하였으나 X-선 에너지가 약하여 치료효과는 극히 미약하였다. 1937년 Stanford의 Eloesser는<sup>4)</sup> 200 KVP의 X-선을 사용하여 위암과 직장암 환자 6명을 45Gy 단일 조사를 시행하여 근대적 IORT 방법의 기초를 세웠다. 그 후 1965년 일본 경도대 Abe는<sup>5-9)</sup> 위암 환자를 개복된 채로 전신마취 하에서 수술실로 부터 방사선 치료실로 이동하여 Co-60원격치료를 사용하여 25-30Gy 단일조사를 시행하였으며, Betatron이 설치됨으로서 최초로 전자선을 이용한 IORT을 시행하게 되었다.

전자선의 물리적 특징은 선량분포에 있어서 급격한 강하 때문에 주변 정상조직의 방사선 피폭을

최소화 할 수 있는 장점때문에 일본, 미국, 유럽등에 널리 보급되어 IORT의 보편적인 방법으로 사용되고 있다.<sup>10-16</sup>

IORT의 치료효과를 좌우하는 요건으로는 종양의 침윤정도에 따른 적절한 에너지의 선택과 조사면적의 크기 결정, 조사되는 방사선의 총선량과 함께 조사되는 표면과 깊이에서 얼마나 균등하고 정확한 선량이 조사되는가에 좌우된다.

이러한 요소중에서 에너지와 총선량은 cone에 무관하지만, 조사면적의 크기, 표면과 깊이에서의 선량분포는 cone에 따라 상당한 차이가 있으므로 cone의 모양이 치료효과를 좌우하는 중요한 요소가 된다.

Abe등은<sup>5-9)</sup>3000-4000 cGy의 IORT 단일조사만으로 치료하여 좋은 생존율을 얻었음은 물론 특별한 부작용이 없었다고 보고하고 있고, Sindelar등은<sup>13, 16)</sup>개를 이용한 실험에서 5000 cGy의 단일조사에서도 대동맥에 특이한 이상이 없이 intima-media에 경미한 섬유화 만을 보고하였으나, 소장에서는 2000cGy에서 mucosal atrophy, muscular layer의 섬유화 등의 변화로 인한 협착 등이 수반될 뿐 아니라 3000cGy 이상에서는 장폐색과 천공도 관찰되었음을 보고하였다.

본 교실에서는 1500cGy의 IORT와 함께 IORT 조사면적 밖에 퍼져 있을 수 있는 microscopic spread를 막기 위하여 외부 방사선 조사를 4000-4500cGy를 병행하는 regimen를 사용하여 IORT 조사면적 밖의 실패를 최소화 하였다.

처음 제작한 #1 IORT cone(Fig 1-A)은 튼튼하기는 하였지만 너무 무거워 소독과 사용하기에 불편하였으며, 선량분포에서도 10%의 차이를 갖고 있었다. 그 다음 제작한 #2 IORT cone(Fig 1-B)은 선형가속기에 부착된 periscope를 사용할 수 있도록 cone를 제작하였으나 periscope의 lens가 cone를 통하여 올라오는 열기 때문에 김이 서려 잘 관찰할 수 없는 불편함이 있었다.

그 다음 제작된 것이 투명한 아크릴을 사용하여 #4 IORT cone(Fig 1-C)으로 접촉되는 밀면을 고려하여 cone의 밑면에 cover를 부착하였다. 선량분포가 우수하고 환자시술에도 편리하여 오랫동안 #4 cone으로 환자치료를 계속하였다.

환자치료 중 shaping block의 위치에 대한 착상이 있어 #6 IORT cone(Fig 1-E)을 제작하여 선량분포를 측정해 본 결과 #4 cone보다 100%면이 더 넓었으며, 최고치와 최저치의 차이도 3%가 적었으며, 소독과 환자시술시에도 더 편리하였다.

#### IV. 결 론

1988년 처음으로 IORT cone를 제작하여 약 3년동안 본 교실에서 제작한 stomach IORT cone의 선량 분포특성과 다음과 같았다.

1. shaping block은 tray 상부에 고정하는 것이 tray하부에 고정하는 것보다 선량분포가 균등하였다.
2. divergence cone보다는 straight cone 이 선량분포가 양호하였다.
3. acryl로 만든 것이 stainless로 만든 것보다 임상이용에 편리하였다.
4. acryl cover를 부착한 것이 조사표면도 균등히 할 수 있을 뿐 아니라 선량분포도 좋았고, 표면선량도 증가시킬 수 있었다.

## Reference

1. J.K. Loh John, S.S.Chu, G.E. Kim, C.O. Suh, B.S. Kim, H.K. Oh, W.K. Park, C.B. Kim, K.S.Lee:Intraoperative Radiation Therapy:J. Korean Can. Res., 18(1), 49-58(1986)
2. C.Beck: On external reentgen treatment of internal structures(eventration treatment):N.Y.State J. Med., 89, 621-622(1909)
3. H.Finsterer:Zur Therapie inoperable Magen und Darmkarzinome mit Freile-gung und nachfolgender Rontgenbestrahlung Strahlentherapie: 6, 205-213(1915)
4. L.Eloesser:The treatment of some abdominal cancers by irradiation through the open abdomen combined with cautery excision:Ann. Surg., 106, 645-652(1937)
5. M.Abe, M.Fukada, K.Yamano, et al:Intraoperative irradiation in abdominal and cerebral tumour: Acta. Radiol., 10, 408-416(1971)
6. M.Abe, E.Yabumoto, M.TaKahashi, et al:Intraoperative radiotherapy of gastric cancer:Cancer, 34, 2034-2041(1974)
7. M. Abe:Intraoperative Radiotherapy past, present and Future:Int. J. Rad. On col. 10, 1987-1990 (1984)
8. M. Abe, M. Arakawa: Fundamental studies on surgical irradiation:Histological and hematological changes following irradiation during laparotomy of doge:J. Jpn. Soc. Cancer ther., 2, 271-278(1967)
9. M. Abe, M. Takahashi:Intraoperative radiotherapy:The Japanese experience:Int. J. Rad. Onc. Biol. phys., 7, 863-868(1981)
10. L. L. Gunderson, W. U. Shipley, H. D. Suit, et al:Intraoperative irradiation:A pilot study combining external beam photons with "boost" dose intraoperative electrons:Cancer, 49, 2259-2266(1982)
11. T. Todordki, Y. Lwasaki, T. Okamura, et al:Intraoperative radiotherapy for advanced carcinoma of the biliary system:Cancer, 46, 2179-2184(1980)
12. A. Goldson:Preliminary clinical experience with intraoperative radiotherapy:J. Natl. Med. Assoc., 70, 493-495(1978)
13. J. Tepper, W. Sindelar:Summary on intraoperative radiation therapy:Cancer Treat. Rep., 65, 911-918(1981)
14. L. Gunderson, et al:Intraoperative and external beam irradiation with or without resection Mayo Pilot Experience:Mayo Clinic Proc., 59, 691-699(1984)
15. T.Rich, B.Cody, et al:Ortovoltage intraoperative radiotherapy:A New look at an old idea:int. J. Rad. Oncol., 10, 1959-1965(1984)
16. W.F.Sindelar, J. Tepper, E.L.Travis, et al:Tolerance of retroperitoneal structures to intraoperative radiation:Ann. Surg., 196, 601-608(1982)

## Analysis of Dose Distribution of IORT Cone

Myung Se Kim, M. D., Sung Kyu Kim, Ph. D., Sei One Shin, M. D,  
Dept. of Therapeutic Radiology College of Medicine, Yeungnam University, Taegu,  
Korea

### Abstract

As since authors started IORT for stomach cancer patient on 198, we developed various sized, shaped IORT cones for better clinical application and homogeneous surface and depth dose distribution.

Authors concluded as following.

1. The shaping block should be fixed on the tray, not under the tray for homogeneous dose distribution.
2. The straight cone was showed better dose distribution than divergence cone.
3. The acryl cone was superior than the stainless-steel cone.
4. The acryl cover fixed on the end for IORT cone not only improvement of surface dose, but also homogeneity of depth dose.