고신대학교 의과대학 학술지 제20권 제1호
Kosin Medical Journal
Vol. 20, No. 1, pp. 157~163, 2005

테프롬 함 내의 TLD rod와 TLD chip의 생체내 선량계 적정평가

김수길

고신대학교 의과대학 의예과

Evaluation of TLD Rod and Chip in each Teflon Case as in-vivo Dosimeter

Sookil Kim, Ph.D.

Department of Premedical Sciences, Kosin University College of Medicine, Busan, Korea

Abstract

Purpose: To evaluate the performance of the both teflon cases for TLD rod and for TLD chip for measuring absorbed dose which may be developed as in-vivo dosimeter in nuclear medicine.
Methods: measured the depth dose in solid phantom and in anthropomorphic phantom using TLD rod in rod teflon case and TLD chip in chip teflon case. The measurement of depth dose in solid phantom and the absorbed dose in anthropomorphic phantom performed with TLD rod in rod teflon case were compared to the values obtained by with TLD chip in chip teflon case.
Results: TLD chip in chip teflon case showed more significant build-up effect near the surface caused by the more thickness of chip teflon case than rod teflon case. But the effectiveness of both teflon case in anthropomorphic phantom was similar to each other.
Conclusion: TLD rod in rod teflon case and TLD chip in chip teflon case were proven to be appropriate for in-vivo dosimetry in therapeutic environments. But The TLD rod in teflon case was shown more effectiveness near the surface.

Key words : Evaluation, TLD, Rod, Chip, Teflon case, Anthropomorphic phantom

서 론

방사선 치료분야에서 흡수선량의 측정에 대한 필요성이 점점 증가하고 있다. 치료 시 정상조직과 종양, 양쪽 모두의 흡수선량을 정확하게 분석하는 것은 매우 중요하고 치료효과를 높이는 데 필수적이다. 흡수선량을 정밀하게 측정하기 위한 여러 가지 방법 중에서 TLD를 최소화시킬 필요가 있다. 그렇게 되면 TLD 선량계의 위치 해상도를 높일 수 있고, 생체 내 흡수선량 측정 시 선량계를 murine이나 다른 해부기관, 즉, 정상적인 조직기관이나 종양부위의 내부나 가까이 둘 수 있기 때문이다. 그리고 최소화된 선량계는 생체에 가하는 stress도 작을 뿐만 아니라 선량분포에 미치는 영향도 줄일 수 있다. 따라서 최근에 작은 TLD를 사용하여 직접 생체 내 흡수선량 측정에 대한 제안이 많이 있다. $CaSO_4$:Dy TLD가 LiF TLD보다 반응감도가 30 배 정도로 크기 때문에 $CaSO_4$:Dy TLD가 작은 선량계 개발을 위한 연구소재로서 많이 선택되어 왔다[1].

Wessel 등은 미니 $CaSO_4$:Dy TLD법을 제안하고, 동물의 기관 내에 $CaSO_4$:Dy를 심어서 흡수선량을 측정하였고 또 조직 등가 물질로 된 인공 종양을 넣은 팬텀을 만들어서 종양으로부터 거리에 따른 흡수선량의 분포를 미니 TLD를 이용하여 구하였다. Griffith 이하는 종양부위를 미세 절단하고 심은 미니 TLD를 자동 방사선 단면 사진(autoradiographic section profile)과 연계시켜서 종양 내 불균일 방사능 물질과 흡수선량과의 상관관계를 규명하

교신저자 : 김 수 길
TEL: 051-990-6427
E-mail: affipany@ns.kosinmed.or.kr

상기 논문은 고신대학교 의과대학으로부터 연구비 일부를 지원 받았음

였다. 그러나 여러 번의 생체 실험 후에 미니 $CaSO_4$:Dy TLD법에 대한 여러 가지 문제점이 제기되었다. Heidorn 등은 미니 $CaSO_4$:Dy TLD의 광방출 감쇠효과(fading effect)에 대한 연구를 제의하였고[2], Demidecki 등은 20 μm thick disc-shaped $CaSO_4$:Dy TLD 선량계의 gel 내에서의 절대 보정값에 영향을 미치는 인자를 조사하였다[3]. 그들은 TLD의 광방출 감쇠와 더불어 이들을 방사능용액이나 겔 혹은 조직 내에 넣었을 때의 TLD 반응감도의 손실을 특히 강조하였다. 또한 $CaSO_4$:Dy TLD의 단점은 유효원자번호(Zeff)가 15.3이어서 조직등가물질(tissue equivalent material, Zeff = 7.4)이 아니라는 점과 낮은 광에너지에 높은 반응감도를 나타내는 점이다. 반면에 LiF TLD는 거의 조직등가 물질에 가깝고 광에너지에 대한 의존성도 작은 편이다.

공간 해상도(spatial resolution)를 높이기 위하여 Nilsson 등은 테프론 바탕 (teflon-based)의 LiF TLD에 관하여 연구하였고[4], Gagnon등과 Velkley 이하는 탄소를 씌운(carbon loaded) TLD를 개발하여 인체 내 피부층인 basal 층에서의 흡수선량을 측정하였다. 그렇지만 이러한 선량계들은 어느 정도의 두께증가를 피할 수 없을 뿐만 아니라 실제의 표면선량은 extrpolation chamber에 의해서만 구해진다. Loncol등은 반도체 선량계와 TLD 선량계의 생체 내 선량측정을 비교하기 위하여 외부 광자선속으로 뇌와 머리 그리고 목 부위에 집중적인(isocentrically) 치료를 받는 환자의 흡수선량을 두 선량계를 이용해서 측정하였다. 그들은 동일 전자평형을 확실히 이루게 하기 위하여 TLD용 build- up 덮개(cap)를 반도체 선량계와 유사한 형태와 물질로 만들어 연구하였다[5]. 방사선치료 환경조건에서 흡수선량측정을 위하여 양쪽의 선량계에 동일한 보정 방법론을 적용하였다. Duch등은 골수 이식 전 TBI(total body irrdiation)치료 동안 선량분포를 측정하는 생체 내 TLD 시스템의 개발에 착수하여 polystyrene build- up cap을 만들어 입사선량(entrance dose)과 탈출(exit dose)선량으로부터 중간지점의 흡수선량을 구하였다[6]. Kron 등은 세 가지 다른 두께의 LiF TLD를 사용하여 여러 다른 표면 깊이에서의 흡수선량을 외삽법(extrapolation)과 내삽법(interpolation)에 의하여 구하였다[7]. 환자 치료 시 입사선량과 탈출선량을 측정할 수 있도록 TLD 홀더를 고안하여 방사능의 영향을 가장 많이 받는 피부층인 basal 층에서의 흡수선량을 측정하였다.

위에 언급한 여러 가지 방법에 의한 선량결정은 시간소모적이고 또한 이러한 선량계기들의 부피감 때문에 환자가 치료를 받는 의료적인 상황에 적용하기에는 부적합하다. 이러한 TLD와 관련된 문제는 테프론(teflon)로써 TLD를 덮어씌움으로서 해결이 가능할 수 있다. 그리고 이렇게 함으로서 조직이나 겔(gel)내에 있음으로 인해 생기는 영구적인 신호강도의 손실(signal loss)을 막을 수도 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 TLD를 넣을 수 있는 테프론 함를 이용하여 앨더슨 인체모형팬텀(anthropomorphic phantom)내의 주요 기관 부위의 흡수선량을 측정하였으며, rod형과 chip형 테프론함의 특성을 비교하여 보다 적합한 생체내 TLD 선량계를 개발하고자 한다.

재료 및 방법

1. TLD 흡수선량 보정(absorbed dose calibration)

TLD 선량 보정 실험은 환자 치료 시와 유사한 조건하에서 고신의료원의 치료용 선형가속기(Varian Clinac-1800 linear accelerator)로부터 나오는 6 MV의 X-선을 TG 25 protocol 기준에 맞게 보정하였다. 열자극발광 선량계로는 LiF TLD(lithium fluoride TLD 100, Harshaw, Solon, OH)를 사용하고 TLD 반응값은 TLD 측정기기(reader model 5500, Harshaw, Bicron, OH)에 연결된 컴퓨터로부터 바로 읽을 수 있었다. 선형가속기로부터 나오는 그 값이 정확히 알려져 있는 선량을 임의로 선정된 한 일련의 TLD 선량계에 차례대로 조사하여(irradiation), TLD 선량계 각각의 광방출값(light output)을 흡수선량 단위(Gy)로 환산하여 보정계수를 구하였다.

2. LiF TLD용 테프론 함

생체 내 선량측정에 사용할 수 있도록 뚜껑이 있는 테프론(teflon) 함을 이용하였다. chip용 테프론 함은 사각판 형태의 LiF TLD(이후 TLD chip이라 부르기로 한다)를 넣을 수 있는 박스형태의 함(Case)으로 TLD chip과 같은 크기의 홈이 파인 테프론 박스와 박스에 꼭 맞는 테프론 뚜껑, 이렇게 두 조각으로 이루어진다. 그 외형적 크기는 5.5 x 5.5 x 2 mm^3 이다. rod용 테프론 함은 원통 막

대형 LiF TLD(이후 TLD rod로 부르기로 한다)를 넣을 수 있는 원통 형태의 함이며, TLD rod와 같은 크기의 홈이 파인 테프론 원통과 원통에 꼭 맞는 테프론 뚜껑, 이렇게 두 조각으로 이루어진다. rod용 테프론 함은 외형적 크기가 반경 1 ㎜, 길이 7.5 ㎜이므로 방사선 치료에 쓰이는 외부 선속의 크기에 비하여 매우 작다. 그림 1은 chip용 테프론함과 rod용 테프론함을 보여준다.

Fig. 1 Chip teflon case for TLD chip (left) and rod teflon case for TLD rod.

3. TLD와 테프론 함에 의한 깊이선량 측정

피부 표면으로부터 각 깊이에 따른 TLD 흡수선량에 대한 테프론 함의 영향을 알아보기 위하여, 흡수선량분포를 SSD 100 ㎝, 조사야 10 ㎝×10 ㎝에서 고체 팬텀을 이용하여 중심축을 따라 측정하였다.

1) TLD chip용 테프론 함과 깊이선량

면적 30×30 ㎠, 두께 1 ㎜ 의 고체 팬텀 (RW3, PTW, Feiburg, Germany)의 중앙에 TLD chip과 크기가 같은 사각형의 홈(3.2×3.2×0.9 ㎣)을 파서 TLD chip이 홈에 꼭 맞게 들어갈 수 있게 하고, 또 TLD chip용 테프론 함을 넣기 위해 면적 30×30㎠, 두께 2 ㎜의 고체 팬텀에 테프론 함의 크기(5.5 x 5.5 x 2 ㎣)와 같은 크기의 홈을 판 다음 완전한 후방산란(backscattering)을 위해 그 홈이 있는 고체 팬텀 판 아래에 20 ㎝ 두께의 다른 고체 팬텀을 놓았다. 그리고 SSD 100 ㎝, 조사야 10 ㎝×10 ㎝의 조건하에서 균질한 고체 팬텀의 최대 선량 깊이 d_{max}(15㎜)에 고정된 방사선량 100 cGy가 조사되도록 6 MV 가속기를 조절해 놓고 깊이에 따른 TLD 반응값을 측정하였다. 먼저 TLD chip을 테프론 함 없이 팬텀 표면에서 40 ㎜ 깊이까지 1㎜ 단위로 깊이 변화를 주면서 방사선을 쪼여 TLD chip 반응값을 측정하였다. TLD chip의 깊이의 변화는 SSD는 100 ㎝로 고정시키고 얇은 고체 팬텀 판을 TLD chip 위에 하나씩 쌓아 올려서 TLD chip의 방사선원으로부터의 수직거리(SAD)와 고체팬텀 표면으로부터의 깊이를 동시에 변화시켰다. 그 다음 동일한 조건하에서 TLD chip를 chip용 테프론 함에 넣어서 깊이 변화에 따른 TLD chip의 반응값을 측정하였다.

2) TLD rod용 테프론 함과 깊이선량

면적 30×30 ㎠, 두께1 ㎜의 고체 팬텀(RW3, PTW, Feiburg, Germany)의 중앙에 TLD rod와 크기가 같은 홈(6 x 1 x 1 ㎣)을 파서 TLD rod가 이 홈에 꼭 맞게 들어갈 수 있게 하였다. 또 rod용 테프론 함을 넣기 위해 또 다른 2 ㎜의 고체팬텀 중앙에 rod용 테프론함이 들어갈 수 있는 크기의 홈 (8 x 2 x 2 ㎣)을 파서 rod용 테프론 함이 들어갈 수 있게 하였다. 완전한 후방산란(backscattering)을 위해 홈이 있는 고체 팬텀 판 아래에 20㎝ 두께의 다른 고체 팬텀을 놓았다. 그리고 SSD 100 ㎝, 조사야 10 ㎝×10 ㎝의 조건하에서 균질한 고체 팬텀의 최대 선량 깊이 d_{max}(15㎜)에 고정된 방사선량 100 cGy가 조사되도록 6 MV 가속기를 조절해 놓고 깊이에 따른 TLD 반응값을 측정하였다. 먼저 TLD rod을 테프론 함 없이 팬텀 표면에서 40 ㎜ 깊이까지 1㎜ 단위로 깊이 변화를 주면서 방사선을 쪼여 TLD rod 반응값을 측정하였다. TLD rod의 깊이의 변화는 SSD는 100 ㎝로 고정시키고 얇은 고체 팬텀 판을 TLD rod 위에 하나씩 쌓아 올려서 TLD rod의 방사선원으로부터의 수직거리(SAD)와 고체팬텀 표면으로부터의 깊이를 동시에 변화시켰다. 그 다음 동일한 조건하에서 TLD rod를 rod용 테프론 함에 넣어서 깊이 변화에 따른 TLD rod의 반응값을 측정하였다.

4. 인체모형 팬텀 내에서의 흡수선량 측정과 테프론 함

인체 내의 위치에 따른 TLD 흡수선량에 대한 테프론 함의 영향을 측정하기 위하여 랜도 인체 모형 팬텀 (Alderson Research laboratories Inc., stanford. CT)을 이용하였다. 인체모형 팬텀(anthropomorphic phantom)은 성인

어른의 뼈를 뼈대로 하고, 인체 조직 대신에 조직등가물질을 이용하여 만든 인간모형이다. 그것은 2.5 cm두께의 횡단 조각면 총 36개로 이루어져 있으며, 각 횡단 조각면은 구멍이 매트릭스형태로 1.5 cm 간격으로 뚫어져 있고, 그 구멍은 잘 맞는 마개로 채워져 있으며 흡수선량 측정시에는 TLD를 집어넣을 수 있게 되어있다. 테프론 함의 흡수선량에 대한 영향을 조사하기 위하여 랜도 팬텀의 26번째 조각면의 흡수선량을 측정하였다. 26번은 배꼽을 포함하는 복부부위지점으로 뼈보다 조직부위가 많아 깊이선량 측정과 유사한 결과를 낼 것으로 기대되는 부위이기 때문이다. 인체모형 실험은 SSD 100 cm, 조사야 10 cm×10 cm의 조건하에서 배꼽 부위을 포함하는 인체모형 팬텀 상체부위를 방사선 치료대에 얹고, 배꼽으로부터 배꼽을 통과하는 중심축 아래 d_{max}(1.5 cm)에 고정된 방사선량 100 cGy가 조사되도록 6 MV 가속기를 조절해 놓고 인체 각 부위에 따른 TLD 반응값을 측정하였다.

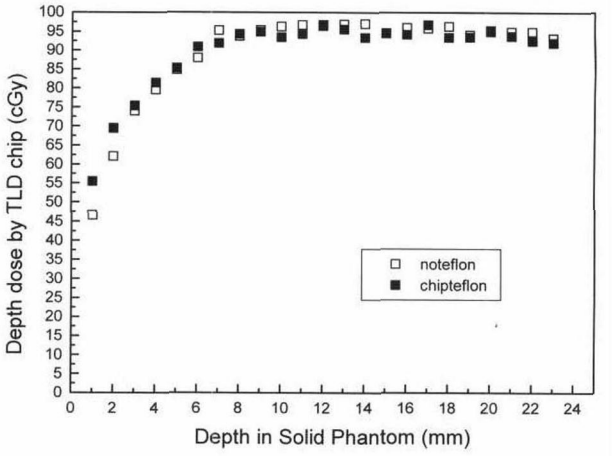

Fig. 2 Depth dose distributions which were obtained by the TLD chip in chip teflon case or without case for a 10x10 cm^2 square field at the SSD 100 cm for 6 MV linear accelerator. The result of TLD chip measurement in chip teflon case is shown by scattered solid squares. For comparison the result of TLD chip without chip teflon case is shown by scattered open squares.

결 과

1 깊이선량에 대한 chip용 테프론 함의 영향

깊이에 따른 chip용 테프론 함의 영향을 알아보기 위하여, SSD 100 cm에서 고체 팬텀을 이용하여 구하였다. chip용 테프론 함에 넣지 않고 TLD chip만을 고체 팬텀 표면에서 40mm 깊이까지 1mm 단위로 깊이 변화를 주면서 방사선을 쪼인 뒤 구한 반응값과 TLD chip을 테프론 함에 넣어 동일한 조건하에서 구한 깊이선량분포곡선이 그림 2에 나타나 있다. 두 곡선은 표면근처를 제외하고는 전형적인 깊이선량분포 형태를 보이며, 최대깊이선량 지점도 15mm 부근에 위치함을 알 수 있다. 구체적인 테프론함의 반응값에 대한 영향을 알기 위하여 chip용 테프론함에 넣은 TLD 반응값과 함에 넣지 않은 TLD 반응값의 비를 측정하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보면, 표면근처의 깊이에서는 테프론 함의 두께로 인한 build-up 효과를 관측할 수 있으나 3 mm이상의 깊이에서는 반응값에서의 테프론 함의 영향을 거의 관측할 수 없음을 알 수 있다.

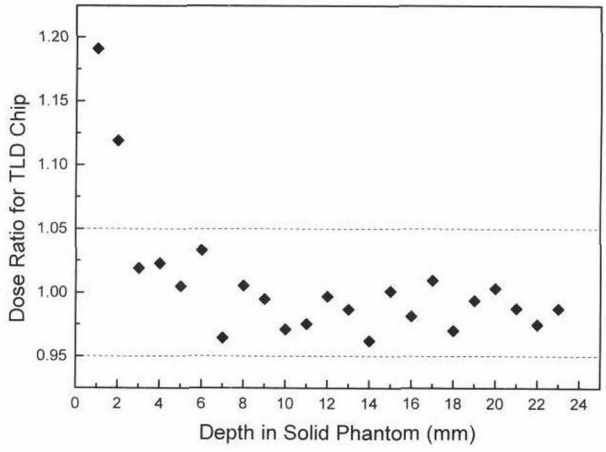

Fig. 3 The ratio of TLD chip measurement in chip teflon case from TLD chip measurement without chip teflon case. It shows that chip teflon case doesn't affect on TLD chip response beyond the depth 3 mm.

2 깊이선량에 대한 rod용 테프론 함의 영향

깊이에 따른 rod용 테프론 함의 영향을 알아보기 위하여, SSD 100cm에서 고체 팬텀을 이용하여 구하였다. rod용 테프론 함에 넣지 않고 TLD rod만을 고체 팬텀 표면에서 4mm 깊이까지 1 mm 단위로 깊이 변화를 주면서 방사

선을 쪼인 뒤 구한 반응값과 TLD rod을 테프론 함에 넣어 동일한 조건을 주어 구한 반응값이 그림 4에 나타나 있다.

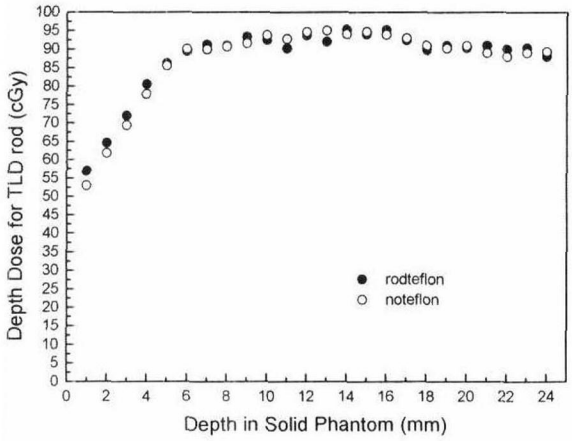

Fig. 4 Depth dose distributions which were obtained by the TLD rod in rod teflon case or without case for a 10x10 cm^2 square field at the SSD 100 cm for 6 MV linear accelerator. The result of TLD rod measurement in rod teflon case is shown by scattered solid circles. For comparison the result of TLD rod without rod teflon case is shown by scattered open circles

두 곡선은 표면근처를 제외하고는 유사한 형태이며, 최대깊이선량 지점도 15㎜ 부근에 위치함을 알 수 있다. 구체적인 rod용 테프론함의 반응값에 대한 영향을 알기위하여 rod용 테프론함에 넣은 TLD 반응값과 함에 넣지않은 TLD 반응값의 비를 측정하여 그림 5에 나타내었다. 2 ㎜이상의 깊이에서는 반응값에서의 테프론 함의 영향을 거의 관측할 수 없음을 알 수 있다. 그림 5에 의하면 chip용 테프론 함과 유사하게 표면 근처의 깊이에서는 테프론 함의 두께로 인한 build-up 효과를 관측할 수 있으나, 2㎜이상의 깊이에서는 반응값에서의 테프론 함의 영향을 거의 관측할 수 없음을 알 수 있다.

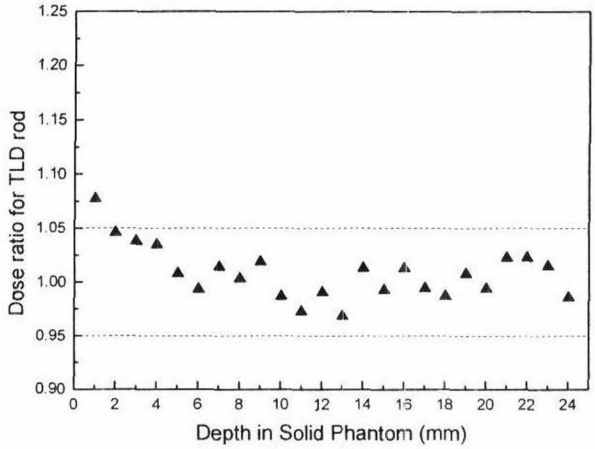

Fig. 5 The ratio of TLD rod measurement in rod teflon case from TLD rod measurement without rod teflon case. It shows that rod teflon case doesn't affect on TLD rod response beyond the depth 2 ㎜.

3. 인체 모형 팬텀내 흡수선량 측정에 대한 테프론 함의 영향

테프론 함의 최대선량 깊이 이후의 흡수선량에 대한 영향을 조사하기 위하여 인체 모형 팬텀의 26번째 횡단조각면 내의 흡수선량을 측정한 결과를 그림 6 과 그림 8에 보였다.

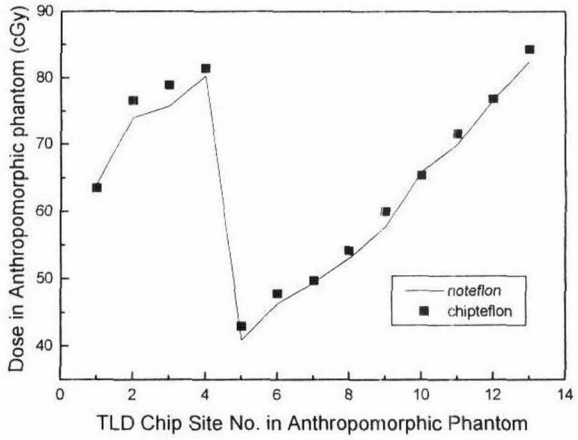

Fig. 6 The Absorbed dose measurements in the abdomen region of an anthropomorphic phantom by TLD chip in chip teflon case and without chip teflon case. The TLD chip measurement 13 sites were located on the slice 26 of the phantom.

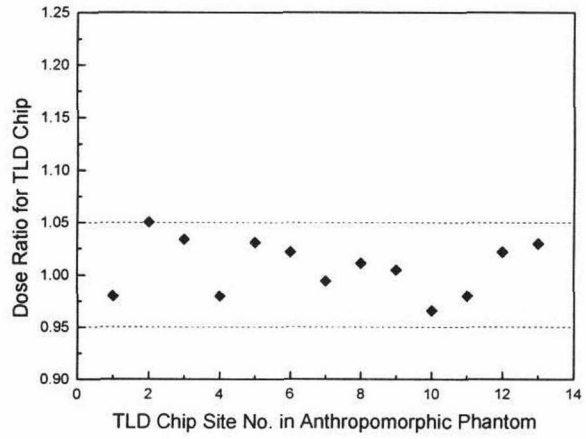

Fig. 7 A comparison of absorbed doses between TLD chip in chip teflon case and without chip teflon case at the same sites in anthropomorphic phantom.

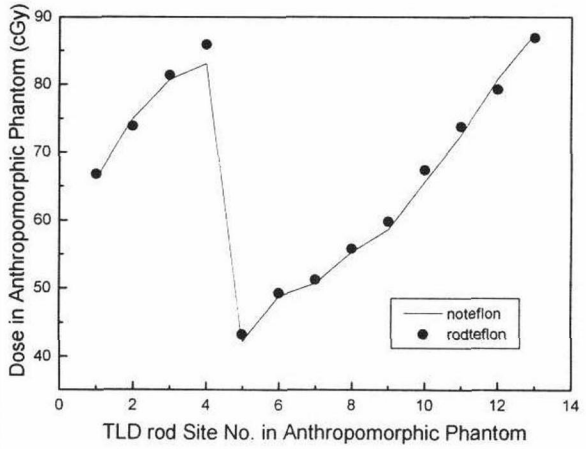

Fig. 8 The Absorbed dose measurements in the abdomen region of an anthropomorphic phantom by TLD rod in rod teflon case and without rod teflon case. The TLD rod measurement 13 sites were located on the slice 26 of the phantom.

그림 6은 TLD chip와 chip용 테프론함을 이용하여 구한 것이며, 구체적인 테프론함의 반응값에 대한 영향을 알기 위하여 chip용 테프론함에 넣은 TLD 반응값과 함에 넣지 않은 TLD 반응값의 비를 측정하여 그림 7에 나타내었다. 그림 6과 그림 7을 분석해 보면, 깊이가 증가할수록 흡수선량이 감소하는 것을 보여주고, 또한 피부와 아주 가까운 측정지점이 없는 관계로 흡수선량에 대한 chip용 테프론 함의 영향이 거의 없는 것을 그림 7로부터 관측할 수 있다.

또한 rod용 테프론 함의 영향을 살펴보면, 그림 8은 TLD rod와 rod용 테프론함을 이용하여 구한 것이며, 구체적인 테프론함의 반응값에 대한 영향을 알기 위하여 rod용 테프론함에 넣은 TLD 반응값과 함에 넣지않은 TLD 반응값의 비를 측정하여 그림 9에 나타내었다. 그림 8과 그림 9을 분석해 보면, TLD chip의 경우와 유사하게 깊이가 증가할수록 흡수선량이 감소하는 것을 보여주고, 또한 피부와 아주 가까운 측정지점이 없는 관계로 흡수선량에 대한 rod 테프론 함의 영향이 거의 없는 것을 그림 9으로부터 관측할 수 있다.

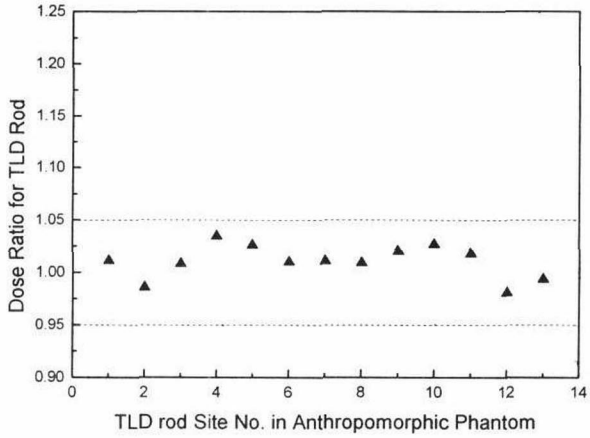

Fig. 9 A comparison of absorbed doses between TLD rod in rod teflon case and without rod teflon case at the same sites in anthropomorphic phantom.

고 찰

chip용 테프론 함과 rod용 테프론 함의 TLD 반응값에 대한 영향을 비교하면, 고체 팬텀을 이용한 표면근처의 깊이선량측정에서는 chip용 테프론 함과 rod용 테프론 함의 TLD 반응값에 대한 영향은 표면부위 (0-3㎜)를 제외하고는 거의 두 함 사이에 차이를 보이지를 않는다는 것을 그림 3와 그림 5으로부터 알 수 있다. 그리고 rod용 테프론 함의 크기가 chip용 테프론 함보다 크기가 상대적으로 작아서 build-up효과에 영향이 더 작고, 따라서 표면부위

에서는 rod용 테프론 함으로 인한 반응값의 편차가 보다 작은 것을 관측할 수 있다.
그리고 인체모형 팬텀을 이용한 실험에서는 측정위치가 대부분 심부지점이므로 chip용 테프론 함과 rod용 테프론 함의 TLD 반응값에 대한 영향을 비교했을 때 별 차이가 없는 것을 그림 7과 그림 9로부터 관측할 수 있다.

결 론

LiF TLD는 반응감도의 감쇠효과는 거의 무시해도 무방하나 생체 측정을 위하여 크기를 최소화하는 경우 반응값의 감소로 인하여 낮은 흡수선량의 경우 정밀한 측정이 어려울 뿐 더러 그것이 가진 독성으로 인하여 직접 생체 내에 이식은 지금까지 불가능하였다. 그러나 테프론으로 만들어진 함에 집어넣게 되면 피부 표면 흡수선량 측정시의 TLD 오염으로 인한 반응감도의 변화를 방지할 수 있으며 생체 내 선량측정 시 조직내의 산도로 인한 신호강도의 손실을 방지할 수 있고 무엇보다도 LiF 독성으로 인한 인체 내에 미치는 피해를 줄일 수 있다. 또 TLD를 테프론함에 넣어 사용하는 경우 환자의 입사선량과 탈출선량을 정확히 측정할 수 있으므로 인체 내의 특정한 기관의 흡수선량을 구할 수 있는 방법을 유도해 내는 것이 가능하며, 또 피부로부터의 오염을 막을 수 있고 양면 테이프을 이용하여 인체의 어느 부위에도 부착이 가능하므로 TBI와 TSEI를 위한 방사선 조사(irradiation) 시 피부 흡수선량 측정에 적합하다.

본 연구에서는 chip용 테프론 함과 rod용 테프론 함의 TLD 반응값을 측정하고, 그에 대한 영향을 비교한 결과 피부 가까운 부위에서는 rod용 테프론 함에 넣은 TLD가 더 효과적인 측정방법이며, 심부지점에서의 방사선량 측정에는 chip용 테프론 함과 rod용 테프론 함의 TLD 반응값에 대한 영향에 별 차이가 없는 것으로 관측되었다. 따라서 chip용 테프론 함은 인체 내 심부의 흡수선량측정에 적합하며, rod용 테프론 함은 피부 부근의 표면선량 측정에 더 적합한 선량계로 판명되었다. 그리고 본 연구에서 앞으로 개발하고자 하는 생체용 금속 TLD의 경우 금속칩을 테프론함 내에 집어넣었을 때 반응감도의 증강효과를 측정하여, 그 효과가 탁월한 것으로 나타나는 경우에는 선량계의 크기를 초 미니화 할 수 있어서 TLD 선량계의 생체 내 이식도 가능하리라 예상할 수 있다. 그러한 경우 RIT 치료 중 조사된 총 흡수선량을 보다 정밀히 측정할 수 있으며, 정위적 방사선 수술시 흡수선량 측정과 근거리치료(brachy theraphy)시 생체 내 흡수선량분포 측정도 가능하리라 기대된다[8].

참고문헌

1. Langmuir VK, Wessels BW , Mendonca H, Yorke ED, Montilla L : Comparisons of sectioned micro-TLD dose measurements with predicted dose from 131I-labeled antibody. Med phys.19 (5):1213-1218, 1992
2. Heidorn DB, Ten Haken RK, Roberson PL : A sensitivity study of micro-TLDs for in vivo dosimetry of radioimmunotherapy. Med Phys 18(6):1195-1199, 1991
3. Demidecki AJ, Williams LE, Wong JYC, Wessels BW, Yorke ED, Strandh M, Strand S : Considerations on the calibration of small thermoluminescent dosimeters used for measurement of beta particle absorbed doses in liquid environments. Med Phys 20(4): 1079-1087, 1993
4. Nilsson B, Montelius A : Fluence perturbation in photon beams under nonequilibrium conditions. Med Phys 13:191-195, 1986
5. Loncol T, Greffe JL, Vynckier S, Scalliet P : Entrance and exit dose measurements with semiconductors and thermoluminescent dosemeters : a comparison of methods and in vivo results. Radiother Oncol 41(2):179-187, 1996
6. Duch MA, Ginjaume M, Chakkor H, Ortega X, Jornet M, Ribas M : Thermoluminescence dosimetry applied to in vivo dose measurements for total body irradiation techniques. Radiother Oncol 47(3):319-24, 1998
7. Kron T, Elliot A, Wong T, Showell G, Clubb B, Metcalfe P : X-ray surface dose measurements using TLD extrapolation. Med Phys 20(3):703-711, 1993
8. MacPherson MS, Battista JJ : Dose distributions and dose rate constants for new Ytterbium-169 brachytherapy seeds. Med Phys 22(1): 89-96, 1995