

진행된 후두암 환자에서 후두전절제술에 의한 척수선량 변화

경북대학교 의과대학 치료방사선학교실

김재철 · 김성환 · 박인규

= Abstract =

Influence of Total Laryngectomy on Spinal Cord Dose in Advanced Laryngeal Cancers

Jae Cheol Kim, M.D., Sung Hwan Kim, M.S. and In Kyu Park, M.D.

Department of Radiation Oncology, Kyungpook National University, School of Medicine, Taegu, Korea

Purpose: This analysis was to evaluate the radiation dose around a tracheostoma and spinal cord in the case of advanced laryngeal cancers in which a total laryngectomy was done before radiotherapy.

Materials and Methods: The radiation dose around a tracheostoma and spinal cord was measured by thermoluminescence and film dosimetry in the phantom. Radiotherapy treatment planning was done in 12 cases of advanced laryngeal cancer and compared with the measured dose in the phantom.

Results: Mean spinal cord doses in the phantom by thermoluminescence dosimetry were 86.4% (with a tracheostoma), 80.1% (without a tracheostoma), and the difference was 6.3%. Mean spinal cord doses in the phantom by film dosimetry were 84.7% (with a tracheostoma), 79.0% (without a tracheostoma), and the difference were 5.7%. Calculated spinal cord doses in the phantom were 84.0% (with a tracheostoma), 78.0% (without a tracheostoma), and the difference was 6.0%. Mean calculated spinal cord doses in 12 patients were 83.1% (with a tracheostoma), 76.9% (without a tracheostoma), and the difference was 6.2%. Measured dose of lateral and posterior wall of the tracheostoma by film was low (depth of maximum dose = 12 mm).

Conclusion: In the treatment planning of the advanced laryngeal cancers, the radiation dose of the tracheostoma and spinal cord should be evaluated and be followed by an appropriate management such as a bouls or a brachytherapy boost if the dose around the tracheostoma is low.

Key Words: Tracheostoma, Total laryngectomy, Spinal cord dose

서 론

사선치료를 병용하는 것이 표준으로 생각되고 있다¹⁾. 후두전절제술 후 기도유지의 수단으로 기관루를 재건 해주게 되는데 이 경우 하경부를 전방 일문조사하게 되면 상당한 두께의 연조직 결손으로 인하여 척수 선량의 증가를 예상할 수 있다. 따라서 척수의 부작용 방지를 위해서 기관루가 있는 경우의 척수선량을 정확히 측정할 필요성이 대두된다. 또한 기관루는 치료 후 재발 위험이 상당히 높은 부위이므로 충분한 방사선량을 조사할 필요가 있다. 따라서 기관루 부위의 선량분포를 정확히 측정하는 것이 재발 방지를 위하여 중요하다 하겠다.

본 실험에서는 진행된 후두암 환자에서 후두전절제술 후 생긴 기관루 부위의 선량분포를 열형광선량계 및 필름선량계로 측정하고 전산화 치료계획용 컴퓨터로 계산하여, 기관루의 선량분포 및 기관루가 척수의 선량 분포에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 또한 그 결과를 보상해야 할 경우 그 방법에 대하여 고찰해 보고자 하였다.

대상 및 방법

진행된 후두암 환자 12례를 대상으로 후두전절제술 시행 전 및 수술 후에 각각 전산화 단층촬영을 실시하여 기관루 주위의 영상을 얻었다. 그 영상을 기초로 기관루의 형태를 분석하고 12례의 환자의 평균치로 팬텀의 형태를 결정하였다. 환자의 기관루 깊이가 최대인 단면의 평균을 기준으로 하여 직경 1.2 cm, 깊이 3 cm의 원통형 홈을 가진 가로 30 cm, 세로 30 cm, 두께 15 cm 크기의 아크릴 팬텀을 제작하였다 (Fig. 1). 제작된 팬텀에서 깊이 7 cm에서의 선량을 척수 선량으로 정하여 그 지점에서의 선량을 열형광선량계를 이용하여 10회 반복 측정하였다. 동일한 방법으로 필름선량계를 이용하여 팬텀 깊이 7 cm에서의 선량을 10회 측정하였다. 다음으로 홈이 없는 가로 30 cm, 세로 30 cm, 두께 15 cm 크기의 팬텀을 제작해서 깊이 7 cm에서의 선량을 척수 선량으로 정하여 여기에서의 선량을 열형광선량계 및 필름선량계로 각각 10회씩 측정하였다. 열형광선량계 및 필름선량계로 직접 측정한 결과를 치료계획용 컴퓨터로 계산한 결과와 비교하였다. 본원에서 사용 중인 치료계획용 컴퓨터는 PDP 11/84, Mevaplan 10.1인데 이는 2차원 시스템이므로 작은 공동에 대한 정확한 값의 계산이 불가능하다. 그러나 척추선량 등에 이용이 가능하고 또한 실험값과 비교하여 오차가 그리 크지 않음을 확인하였다.

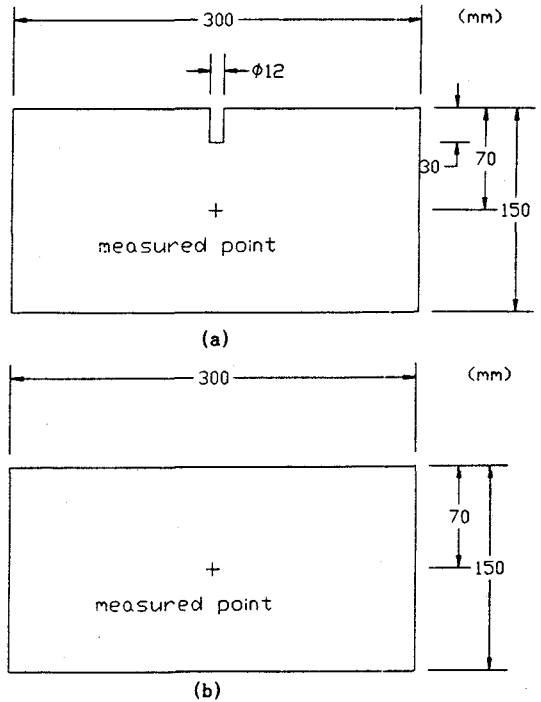


Fig. 1. Design of phantom with (a) and without (b) a tracheostoma.

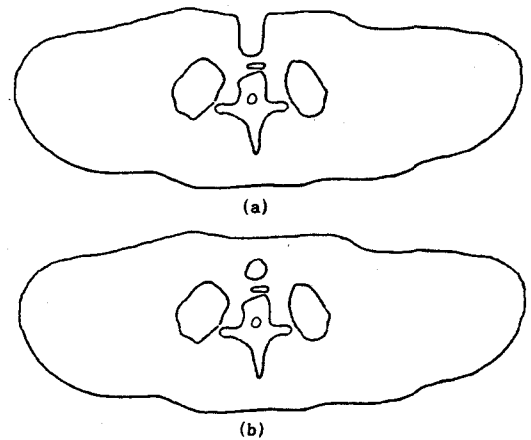


Fig. 2. Comparison of anatomy with (a) and without (b) a tracheostoma.

팬텀에 대한 척수 선량의 측정치와 계산치가 잘 부합됨을 확인한 후에 실제 환자의 단층 영상을 치료계획용 컴퓨터에 입력하여 전산화 치료계획을 실시하였다. 수술 후의 영상 중에서 기관루의 깊이가 최대인 단면을 선택하여 하경부에 대한 전방 일문조사 시의 선량분포를 계산하고 그 단면과 일치하는 수술 전 전

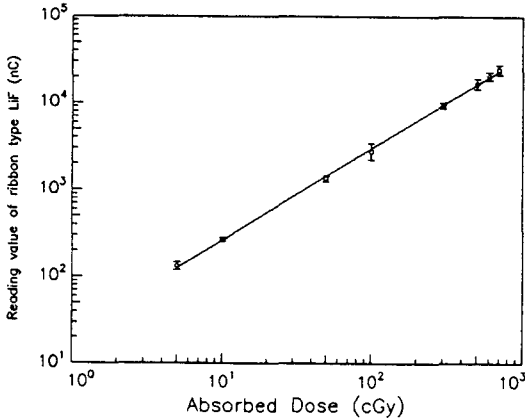


Fig. 3. Thermoluminescence versus absorbed dose curve for TLD-100 chip.

산화 단층촬영 단면을 찾아서 선량분포를 계산하여 각각의 척추선량을 비교하였다 (Fig. 2).

X-선 조사장치는 Siemens사의 6 MV X-선 발생용 선형가속기 (Mevatron KD7076) 를 사용하였으며 선량율은 200 cGy/min였다. 모든 선량의 계산 및 측정 은 조사면 크기 10 × 20 cm, SSD 100 cm, 200 cGy를 표준선량으로 하여 시행하였다. 그리고 표준선량 검증을 위해 국립보건원에서 검·교정된 Capintec 사의 전위계 (모델 192A) 및 이온화선량계 (PR06-C 0.6 cc Farmer 형) 를 사용하였다.

열형광선량계는 가로 3.2 mm, 세로 3.2 mm, 두께 0.9 mm, 무게 23.8 ± 0.26 mg인 Harshaw사의 리본형 TLD-100 (LiF:Mg,Ti) 을 사용하였다. LiF는 비교적 에너지 의존성이 적고²⁾ 시간에 따른 감쇠가 적으며³⁾ 유효 원자번호가 (Zeff) 8.2로 생체연조직의 유효 원자번호와 (Zeff = 7.42) 비슷하여 흡수선량 평가에 많이 쓰여지며 표준 열형광선량계로 사용되고 있다⁴⁾. 열형광선량 관독장치로는 Harshaw사의 System 4000을 사용하였다. 방사선 조사 전에 PTW-Friburg사의 TLD oven (모델 TLD310) 을 사용하여 400℃에서 1시간동안 1차 열처리한 후에 100℃에서 2시간동안 2차 열처리를 하였다. 방사선 조사 후 열형광선량을 관독하기 전에 100℃에서 10분간 전가열하여 감쇠가 비교적 큰 형광곡선의 앞 부분 피크를 제거하였다⁵⁾. 열형광선량의 관독 조건은 100℃에서 10초간 가열 후 가운을 10℃/sec로 하였다. 이러한 관독 조건으로 각각의 소자들 에 대해 표준선량을 조사한 후 이들에 대한 교정계수를 각각 구하였다. 일반적으로 LiF 계열의 열형광선량계는 800 cGy 이상에서 비선형성이 나타나는 것으로 알려져 있다⁶⁾. 흡수선량에 대한 반응곡선을 조사한

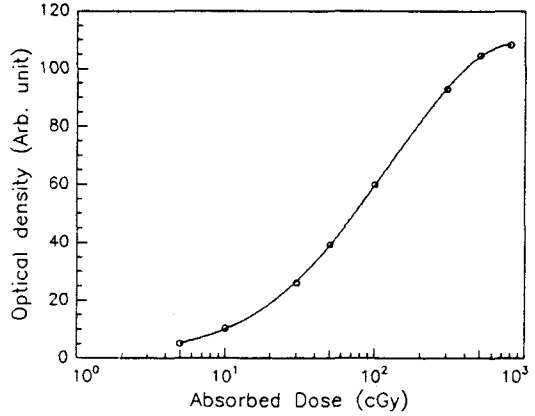


Fig. 4. Sensitometric curve of Kodak KP86316 X-Omat film.

결과 5~700 cGy 내에서는 비교적 선형성을 보였던 바 이 도표를 이용하여 선량 평가를 실시하였다 (Fig. 3).

필름은 Kodak사의 KP86316 X-Omat를 사용하였고 현상기로는 Sakura사의 모델 QX250을 사용하였다. 현상액은 Agfa사의 G138 Developer/Replenisher 를 사용하였다. 그림 1의 (a)와 같이 팬텀의 기관루 모양으로 필름을 제작하고 이를 조사한 후 Wellhofer 사의 필름농도계 (모델 WP102)를 사용하여 현상한 필름의 흑화도를 측정하였다. 조사선량과 필름 흑화도와 의 관계는 S자형의 일반적인 선량 특성을 나타냈고 10 cGy 이하 및 600 cGy 이상에서 흑화도가 포화되기 시작하여서 비교적 안정적이었다 (Fig. 4).

결 과

치료계획용 컴퓨터로 계산된 선량분포의 특성은 환자 및 팬텀에서 공히 비슷한 양상을 보였는데 기관루가 없는 경우는 급격한 선량분포의 변화가 없었으나 기관루가 있는 경우는 기관루 주위등선량곡선이 잘 나타나지 않았다. 그러나 필름선량계에서는 기관루의 형태를 따라 등선량곡선이 나타남을 볼 수 있었다 (Fig. 7).

열형광선량계로 측정된 팬텀 깊이 7 cm 지점에서의 흡수선량은 기관루가 있을 경우 86.4 ± 2.1%, 기관루가 없을 경우 80.1 ± 1.8%였고 두 경우의 차이는 6.3%였다. 필름선량계로 측정된 팬텀 깊이 7 cm 지점에서의 흡수선량은 기관루가 있을 경우 84.7 ± 0.9%, 기관루가 없을 경우 79.0 ± 1.9%였고 두 경우의 차이는 5.7%였다. 기관루가 있는 팬텀의 7 cm 깊

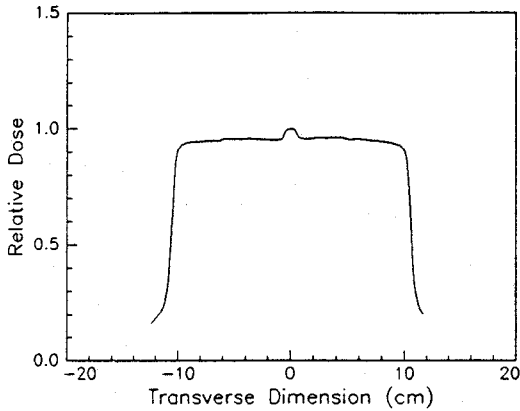


Fig. 5. Depth dose profile normalized to 100% at the center of the field (field size = 10×20 cm, SSD = 100 cm, depth = 7 cm).

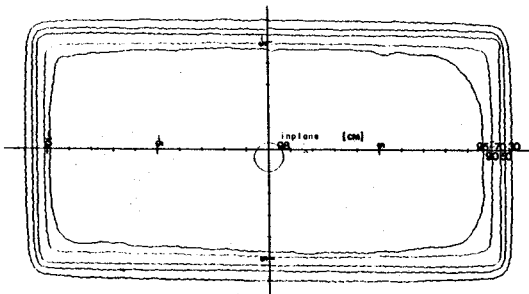


Fig. 6. Cross-sectional isodose distribution normalized to 100% at the center of the field (field size = 10×20 cm, SSD = 100 cm, depth = 7 cm).

이에서 조사된 필름을 필름농도계로 주사하여 얻은 등선량곡선에서 최대치가 되는 지점을 100%로 규격화시켰을 때 기관루 부위의 등선량곡선이 기관루의 모양과 같은 원형으로 나타났으며 (Fig. 5), 깊이 7 cm에서의 흡수선량 단면에서도 기관루가 위치한 중심 부근에서 최대치를 보여 주었다 (Fig. 6).

팬텀에 대하여 전산화 치료계획을 실시한 결과 깊이 7 cm 지점에서의 선량이 기관루가 있을 경우 84.0%, 기관루가 없을 경우 78.0%로 6.0%의 차이를 나타내었다.

위의 세가지 결과를 비교하였을 때 열형광선량계에 의한 측정치가 다른 두 값들에 비해 다소 높은 경향이 있었지만 세 경우 모두 비슷한 결과를 보여 주었다. 따라서 측정치와 전산화 치료계획에 의한 계산치가 잘 부합된다고 할 수 있겠다 (Table 1).

실제 환자의 경우 후두전절제술 전과 수술 후의 두 가지 경우에 대하여 전산화 치료계획을 실시한 결과

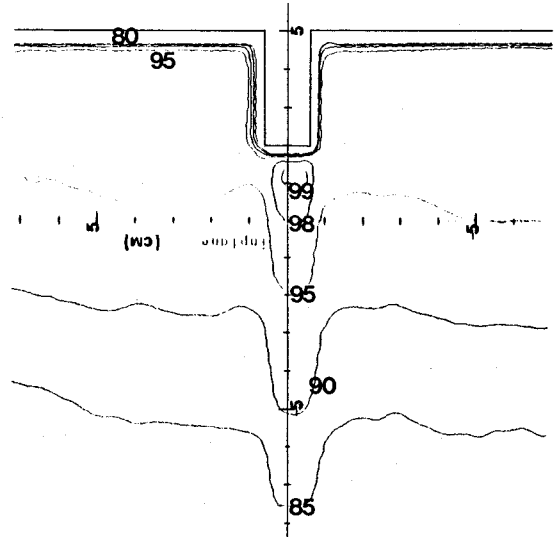


Fig. 7. Dose distribution around the tracheostoma in a phantom.

Table 1. Measured and Calculated Spinal Cord Doses in the Phantom (%)

Method	Tracheostoma(+)	Tracheostoma(-)	Difference
TLD	86.4	80.1	6.3
Film	84.7	79.0	5.7
RTP	84.0	78.0	6.0

Table 2. Calculated Spinal Cord Doses in Patients by RTP computer (%)

Patient	Tracheostoma(+)	Tracheostoma(-)	Difference
1	81.7	74.5	7.2
2	84.0	78.5	5.5
3	82.0	74.0	8.0
4	78.0	72.0	6.0
5	87.0	82.0	5.0
6	80.0	73.0	7.0
7	83.0	75.0	8.0
8	85.5	81.0	4.5
9	83.0	78.0	5.0
10	84.0	78.0	6.0
11	85.0	79.0	6.0
12	84.0	78.0	6.0

수술 전의 척수선량은 73~82%, 수술 후의 척수선량은 78~87%로 양자간에 5.5~8.0%까지의 선량 차이가 관찰되었다. 각 환자마다 기관루의 크기, 각도, 깊이 및 위치, 척수의 위치 및 깊이 등의 차이로 인하여 척수에서의 계산치들이 차이가 났지만 기관루가 있을

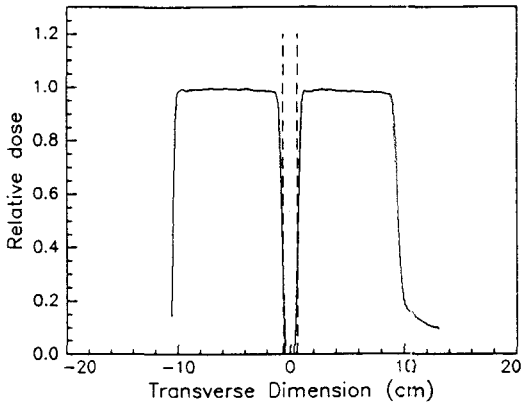


Fig. 8. Depth dose profile normalized to 100% at the center of the field (field size = 10×20 cm, SSD = 100 cm, depth = 1.5 cm).

때와 없을 때를 비교하면 평균 6.2%의 차이가 있었다 (Table 2).

필름선량계로 측정된 기관루 인접 부위의 선량분포에서 기관루 측벽을 따라 선량이 감소하는 소견이 관찰되었고 (Fig. 7), 팬텀 깊이 1.5 cm에서의 선량분포 단면에서도 동일한 소견이 관찰되었다 (Fig. 8). 이때 공동 내에서 필름선량계로 측정된 값이 오차를 포함할 것으로 생각되어 공동 내에서의 선량은 측정하지 않았다. 기관루 중심에서 측정된 깊이에 따른 선량분포 곡선에서 기관루 후벽의 선량이 build-up에 의하여 떨어짐이 관찰되었다 (최대선량 깊이 = 12 mm, Fig. 8).

고안 및 결론

방사선 치료에 있어서 정확한 흡수선량의 평가는 부작용의 방지 및 치료효과의 극대화를 위한 가장 중요한 요소이다. 후두전절제술 후 하경부에 대해 방사선치료를 하는 경우 기관루 부위의 조직결손으로 인한 SSD (선원으로부터 흡수체 표면까지의 거리)의 변화, 급격한 경사 (요면), 공기낭의 영향을 고려해야 할 것으로 생각된다. 이들 요소를 고려하기 위해서는 반드시 전산화 치료계획을 실시하여 선량평가를 하여야 하겠다.

일반적으로 경부의 전방 일문조사 시에는 불규칙한 외형 때문에 생기는 SSD의 변화를 고려해 주어야 한다. 본 실험에서 기관루가 있는 경우 기관루가 없을 때와 비교해서 약 6% 내외의 척수선량 증가가 관찰되었는데 이것은 기도 앞쪽에 있던 연조직이 소실됨으로써 생긴 결과라고 생각된다. 이 수치는 기관루가 없는

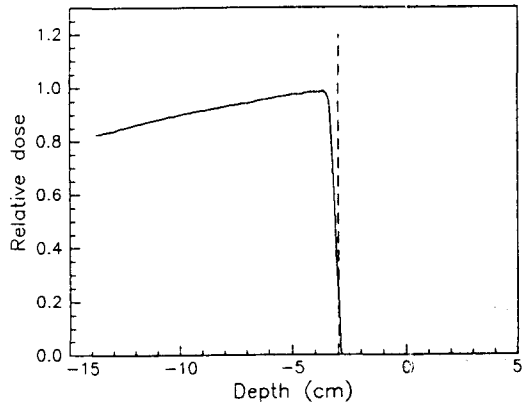


Fig. 9. Depth dose curve normalized to 100% at maximum point (field size = 10×20 cm, SSD = 100 cm).

경우에서 기도의 공기낭의 효과는 무시한 것이다. 기관루가 없는 경우 척수선량에 미치는 기도의 영향을 계산해 본 결과 약 1%의 척수선량 증가를 관찰할 수 있었다. 따라서 기도의 공기낭 효과까지 고려한다면 실제 기관루의 영향은 약 5% 내외라고 볼 수 있겠다. 이것은 심각한 정도의 불균형은 아닌 것으로 보이나 치료계획 시 반드시 고려되어야 할 것으로 생각된다.

급격한 경사 (요면) 에 의한 영향은 기관루의 측벽을 따라 선량이 낮은 양상을 보여 주었는데 이는 기관루에 의해 조직이 결손되어 측방 산란선이 없다는 점 때문이라고 볼 수 있다.

고선량 방사선량 측정에서 공기낭의 가장 중요한 효과는 공기낭 표면에서 전자평형의 소실이며 고품의 산란물질이 공기로 대체되어 공기낭 뒤쪽의 조직에 도달하는 전자가 감소하기 때문에 공기낭 뒤쪽의 조직에 선량이 감소한다⁷⁻¹¹⁾. 또한 공기낭의 앞쪽에 있는 조직에는 후방 산란선의 감소로 인하여 선량이 감소된다. 따라서 기관루와 기도 사이의 공간에서는 공기낭의 효과 때문에 기관루의 앞쪽 및 뒤쪽 벽의 선량이 낮으리라고 예상된다. 또한 기관루 후벽의 낮은 선량은 build-up 에 기인한다고 하겠다.

기관루 부위의 재발 방지를 위해서는 산란피나 근접치료에 의한 추가조사 등의 조치로 기관루 부위의 선량을 보충해 주어야 할 것으로 생각된다. 산란피 제작 시에는 기도유지를 위하여 중심부분이 빈 원통형이어야 하겠고 기관루의 윤곽과 맞아야 한다는 점을 고려하여야 하겠다.

척수 선량을 보정해 주기 위해서는 기관루에 의한 조직 결손을 보충해주면 되므로 산란피나 보상체를 사

용하면 될 것이다. 그러나 기관루의 폭이 1~2 cm로 비교적 좁기 때문에 보상체의 제작은 어려울 것으로 추정되고 가능하다 하더라도 오차가 클 것으로 생각된다¹²⁾. 또한 기관루 부위의 선량을 올려주기 위해서는 보상체보다 산란피가 더 적당하다고 생각된다.

본 실험에서 기관루가 있을 때 척수선량이 80~87%의 범위에 들므로 만약 하경부에 5000 cGy를 준다면 척수에 대한 차폐물 없이 조사하여도 무방하겠고 이는 기관루 부위의 재발방지를 위해서도 바람직하다고 할 수 있겠다. 척수의 허용 선량을 4500 cGy로 고려하면 차폐물 없이 최대 5172 cGy까지는 조사할 수 있지만 기관루 부위의 재발을 막기 위해서는 더 많은 선량이 필요하므로 근접치료에 의한 추가조사 등의 조치가 필요하리라 생각된다.

본 실험에서의 결론을 요약하면 팬텀 및 환자에서의 기관루가 척수선량에 미치는 영향은 6% 내외의 선량 증가였고, 기관루 측벽 및 후벽의 선량은 낮은 양상을 보였다. 따라서 후두전절제술 후 하경부에 대해 방사선치료를 시행할 경우 부작용 방지를 위해 산란피를 사용하여 척수 선량을 보정해 주고 기관루의 선량 증가를 위해 근접치료에 의한 추가조사 등의 적절한 조치가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. DeVita VT, Hellman S, Rosenberg SA. Cancer; Principles and practice of oncology. 4th ed. Philadelphia; Lippincott, 1993:643.
2. Crosby EH, Almond PR, Shalek RJ. Energy dependence of LiF dosimeters at high energies. Phys Med Biol 1966; 11:131
3. Burgkhardt B, Herrera R, Piesch E. Long term fading experiment with different TLD systems. Proc 5th Int conf on Luminescence Dosimetry, São Paulo 1975
4. Oberhofer M, Scharmann A. Applied Thermoluminescence Dosimetry. Bristol; Adam Hilger, 1981
5. Burgkhardt B, Piesch E. The effect of post-irradiation annealing. Nucl Instr Meth 1978; 155:293-299
6. Piesch E, Brugkhardt B, Kabadjova S. Superlinearity and reevaluation of different LiF dosimeter types. Nucl Instru and Meth 1975; 126:563
7. Rad AN, Harper KW, Thobejane S, Bertrand K. Air cavity effects on the radiation dose to the larynx using Co-60, 6 MV, 10 MV photon beams. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1994; 29-5: 1139-1146
8. Klein EE, Chin LM, Rice RK, Mijnheer BJ. The influence of air cavities on interface doses for photon beams. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1993; 27:419-427
9. Epp ER, Boyer AL, Doppke KP. Underdosing of lesions resulting from lack of electronic equilibrium in upper respiratory air cavities irradiated by 10 MV x-ray beams. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1977; 2:613-619
10. Epp ER, Loughheed MN, McKay JW. Ionization build-up in upper respiratory air cavities during teletherapy with cobalt 60 radiation. Br J Radiol 1958; 31:361-367
11. Scrimger JW. Effect of air gap on absorbed dose in tissue. Radiology 1972; 102:171-172
12. Khan FM. The physics of radiation therapy. 2nd ed. Baltimore; Williams and Wilkins 1993:299

국문초록 =

진행된 후두암 환자에서 후두전절제술에 의한 척수선량 변화

경북대학교 의과대학 치료방사선학교실

김재철 · 김성환 · 박인규

목적 : 진행된 후두암 환자에서 후두전절제술 후 경부에 대해 방사선치료를 할 때 기관루 부위의 선량분포 양상 및 기관루에 의한 척수선량의 변화를 알아보고자 하였다.

방법 : 환자의 전산화 단층촬영상을 기준으로 하여 기관루가 있는 팬텀과 기관루가 없는 팬텀을 각각 제작하고 열형광선량계 및 필름선량계를 이용하여 기관루가 있는 팬텀에서의 척수선량과 기관루가 없는 팬텀에서의 척수선량을 측정 비교하였다. 후두전절제술을 시행한 진행된 후두암 환자 12예를 대상으로 수술 전과 수술 후에 각각 전산화 치료계획을 실시하여 척수선량을 비교하였다. 또한 팬텀에 대해서 필름선량계를 이용하여 기관루 부위의 선량분포양상을 측정하였다.

결과 : 6MV X-선, 10×20cm의 조사야로 조사한 팬텀에서 열형광선량계를 사용하여 측정 한 평균 척수선량은 직경 1.2cm, 깊이 3cm의 기관루가 있는 경우 86.4%, 기관루가 없는 경우 80.1%로 그 차이는 6.3%였다. 팬텀에서 필름선량계로 측정 한 평균 척수선량은 기관루가 있는 경우 84.7%, 기관루가 없는 경우 79.0%로 그 차이는 5.7%였다. 팬텀에서 전산화치료계획으로 계산한 척수선량은 기관루가 있는 경우 84.0%, 기관루가 없는 경우 78.0%로 그 차이는 6.0%였다. 환자에서 계산한 척수선량은 기관루가 있는 경우 83.1%, 기관루가 없는 경우 76.9%로 그 차이는 6.2%였다. 필름선량계로 측정 한 기관루 측벽과 후벽의 선량은 낮은 양상을 보였다 (최대 선량 깊이 = 12 mm).

결론 : 팬텀 및 환자에서의 기관루가 척수선량에 미치는 영향은 기관루의 크기나 형태에 따라 6% 내외의 선량 증가였고, 기관루 측벽 및 후벽의 선량은 낮은 양상을 보였다. 따라서 후두전절제술 후 하경부에 대해 방사선치료를 시행할 경우 부작용 방지를 위해 산란피를 사용하여 척수 선량을 보정해 주고 기관루의 선량 증가를 위해 근접치료에 의한 추가조사 등의 적절한 조치가 필요할 것으로 생각된다.