

두경부 암환자 치료 시 CT On-rail System을 이용한 이하선의 위치 보정 및 선량 평가

가톨릭대학교 서울성모병원 방사선종양학과

장형준 · 임충근 · 천금성 · 정일선 · 김희남

목적: 두경부 암 환자 치료 시 표적 및 주변 장기(Target 및 Structure)를 확인하는 방법으로 MVCBCT, KVCBCT, CT On-rail System, Ultrasound 등이 이용된다. 이 중 MVCBCT의 경우는 뼈를 이용한 표적 및 주변 장기의 확인에는 유용하나, 연부조직으로 구성된 표적 및 주변 장기의 확인에는 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 CT On-rail System을 이용하여 두경부 암 환자의 이하선의 움직임에 대한 파악과 체적의 변화에 따른 선량의 변화를 연구해 보고자 한다.

대상 및 방법: 본원에서 두경부 암으로 치료받는 환자 5명을 대상으로 하였다. 선택된 환자는 시멘스사 ARTISTE CT Vision (CT On-rail System)을 이용하여 주당 3회씩 CT 스캔을 시행하였다. CT 스캔 후 이하선의 움직임을 치료 계획시의 영상과 비교하여 이동된 좌표를 얻었으며, 이하선의 체적을 확인하기 위하여 획득한 CT영상을 치료계획 시스템(RTP System)에 전송하여 변화된 체적에 따른 선량분포의 차이를 확인하였다.

결과: 이하선의 움직임에 의한 표적 좌표의 변화는 X: $-0.4 \sim 0.4$ cm, Y: $-0.4 \sim 0.3$ cm, Z: $-0.3 \sim 0.3$ cm이었다. GTV의 체적은 평균 7.11%/week로 감소되었으며 이하선의 체적과 선량의 변화는 평균적으로 좌측 이하선의 체적은 평균 4.81%/week, 우측 이하선의 체적은 2.91%/week, 선량은 좌측 이하선의 선량은 3.66%/week, 우측 이하선 선량은 2.01%/week 감소하였다.

결론: CT On-rail System에서 얻어진 영상을 이용하여 표적 및 주변 장기를 확인한 결과 MVCBCT를 이용한 영상에 비해 연부조직의 관찰에 우수함을 알 수 있었다. 또한, 획득한 영상으로 재 치료계획(Replanning)을 한 후 선량의 재분포를 획득한 결과 단순한 움직임의 보정뿐 아니라 체적의 변화를 고려한 정확한 선량분포를 얻을 수 있었으며, 이렇게 보정된 선량의 전달은 Adaptive Targeting Radiotherapy가 가능할 수 있다고 사료된다. 향후 선량의 전달까지 걸리는 시간을 단축할 수 있는 Real Time Adaptive Targeting Radiotherapy가 구축되어야 할 것으로 사료된다.

핵심용어: CT on-rail system, 두경부 암, 이하선, adaptive targeting radiotherapy

서 론

두경부 암환자를 치료하는 방법으로는 다양한 방법들이 사용되고 있다. 고전적 치료(Conventional RT)에서 시작하여 3차원 입체조형 치료(3D Conformal RT), 세기변조방사선치료(IMRT), 영상유도방사선치료(IGRT)에 이르기까지 환자의 정상조직을 보호하면서 종양 조직에는 최대한 많은 선량을 전달하기 위한 기술들이 개발되었다.

그러나 다양한 치료방법을 이용하여 치료하여도 정확한 환자의 위치잡이와 표적의 위치 확인이 이루어지지 않는다면 처방된 선량이 환자에게 전달되는데 어려움이 발생한다. 따라서 이러한 환자의 자세와 표적을 확인하기 위해서 현재

많이 사용되는 방법이 CBCT (Cone Beam CT)이다. 현재 환자의 자세를 확인하기 위하여 많이 사용되는 CBCT로는 Megavoltage CBCT, Kilovoltage를 기반으로 하여 영상을 획득하는 OBI System인 KV CBCT, CT On-rail System 등이 있다.¹⁾ 이러한 CBCT를 이용한 환자의 자세를 재현하는 방법을 이용하여 치료 전 환자의 정확한 자세와 표적을 확인할 수 있다. 특히, KVCT의 경우는 MVCT에 비해 환자의 정확한 내부 장기 및 연부조직의 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 MVCT와 달리 금속 인공물에 의한 Artifact발생으로 해부학적 구조를 확인하는데 어려움이 있다는 단점을 지니고 있다. 본 논문에서 사용한 CT On-Rail System의 경우도 KV를 기반으로 하는 CT 영상으로 내부 장기 및 연부조직의 변화를 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다.^{2,3)}

또한, 두경부 암 환자의 경우 치료 기간이 오랜시간 동안 지속되므로 환자의 내부 장기 및 연부 조직에 변화를 나타나게 된다. 특히, 두경부 치료 시 이하선의 변화는 체적의 변화

이 논문은 2008년 5월 23일 접수하여 2008년 6월 20일 채택되었음.
책임저자 : 장형준, 가톨릭대학교 서울성모병원 방사선종양학과
Tel: 02)2258-1510, Fax: 02)2258-1532
E-mail: chjasyd@catholic.ac.kr

와 더불어 위치의 변화도 발생하게 된다. Baker, Adam 등은 이러한 GTV의 체적 변화와 이하선의 체적 변화에 대해서 언급하였으며 GTV의 경우 1.8%/Day, 이하선의 경우 0.6%/Day로 감소하는 것으로 보고하였다.⁴⁾ 이러한 체적의 변화는 이하선에 정확한 선량을 전달하고자 하는 치료계획이 환자에게 전달되지 못한다는 점을 단적으로 나타내고 있다. 또한 이하선의 위치 역시 GTV의 체적 감소와 환자의 체중 변화, 내부 조직의 체적 변화 등으로 최초 치료시작 때의 위치와 다르게 된다. 이러한 위치 변화는 주로 이하선에 고선량을 전달받게 되는 방향으로 이동하기 때문에 이하선을 보호하고자 하는 치료 계획 선량이 정확히 환자에게 전달되지 못하는 결과를 초래한다.⁵⁻⁹⁾ 이에 따라 본 논문에서는 CT On-Rail System을 이용하여 획득한 KVCT영상을 이용하여 이하선의 위치 변화와 체적의 변화를 파악하고, 체적의 변화에 따른 선량의 차이를 파악하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상 환자

본원에서 2009년 6월부터 2009년 9월까지 3차원입체조형 치료 방법으로 치료받은 두경부 암 환자 5명을 선정하였다. 선정된 환자들은 Tonsillar Ca, Oral Cavity Ca, Hard Palate Ca 등과 같은 질환을 지닌 환자들로 병기는 T2N1bM0기 이상의 환자들을 선택하였다. 1명을 제외한 남은 환자들은 항암치료 (Chemotherapy)를 병행하였으며, 처방된 치료 선량은 50~70 Gy까지 치료부위에 따라 선량을 결정하였다. 선정된 환자의 전체적인 특징은 아래와 같다(Table 1).

2. 영상 획득 및 체적과 위치 비교

본원에서 사용하고 있는 시멘스사의 ARTISTE CT VISION (CT On-rail System)을 이용하여 일주일에 3회씩 영상을 획득하였다. 획득된 영상의 수는 환자마다 치료 기간이 다르기 때문에 각각 획득 수는 다르지만 총 치료기간 중 16~21번의 영상을 획득을 하였으며, 총 획득한 영상은 95회였다(Fig. 1).

Table 1. Characteristics of patients for experiment

Pt	Age/Gender	Tumor site	Stage	Chemo	Prescription dose (Gy)
1	28/M	Lacrimal Gland Ca	T3N1M0	Y	66
2	48/M	Tonsillar Ca	T2N2M0	Y	70
3	36/F	Thyroid Ca	T2N1bM0	N	60
4	79/F	Oral Cavity Ca	T4aN2bM0	Y	64.8
5	87/M	Hard Palate Ca	T3N1M0	Y	50



Fig. 1. The image of CT on-rail system. It consist of LINAC (ARTISTE, Siemens) and CT scanner (Sensation open, Siemens).

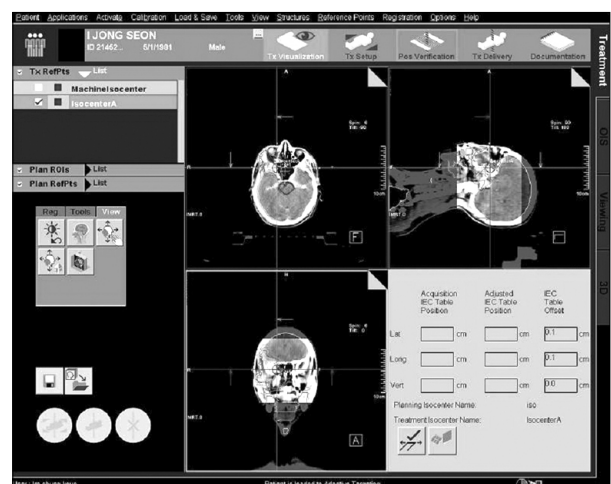


Fig. 2. The image of SYNGO software for adaptive targeting. Adaptive targeting uses three dimensions to aid in patient positioning during volume guided radiation therapy.

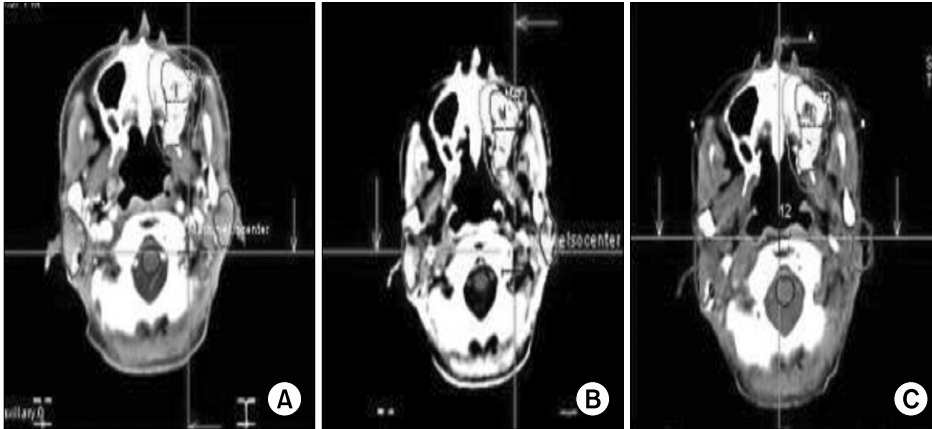


Fig. 3. The image of blending image. The images show the change of parotid gland volume (Inferior both contour of Pt's right and Parotid gland), (A) Initial CT image, (B) 3 week images after treatment, (C) 6 weeks image after treatment.

Table 2. The results of GTV change (cm³)

Pt	V _{max}	V _{min}	V _{mean} change
1	133.004	89.266	9.43%/week
2	20.807	7.063	4.12%/week
3	324.924	197.637	5.59%/week
4	590.965	286.723	8.58%/week
5	18.308	11.126	7.84%/week

획득한 영상은 CT On-rail System과 연결되어 사용되는 Software인 SYNGO (RTT4 Version 4.1.125)로 전송하여 치료 계획에서 사용한 CT 영상과 영상융합(Image Registration)을 하였다. 이하선의 평가로 최초 CT영상에서의 이하선의 위치와 KVCT 영상에서의 위치를 비교하였으며, 체적의 변화는 SYNGO의 Blending Image 기능을 이용하여 비교하였다 (Fig. 2, 3).¹⁰⁾

3. 선량변화비교

ARTISTE CT VISION (CT On-rail System)을 이용하여 획득한 영상은 이하선의 위치와 체적의 변화를 파악한 후 치료 계획장비(Pinnacle 3, Ver. 8.0, Philips)로 전송되어 변화된 GTV의 체적과 이하선의 체적을 계산하게 된다.

또한, 체적의 변화에 따라 환자에게 전달되는 선량 역시 변화한다. 이러한 체적의 변화에 따른 선량의 변화를 구성하기 위하여 CT On-rail System에서 획득한 영상에 변화된 체적을 새롭게 Contouring을 시행한다.

Contouring을 통하여 체적의 변화를 계산하고, 변화된 체적에 따른 치료계획을 시행하여 각 장기 및 연부조직에 나타난 선량을 계산하여 최초 치료계획에서의 선량과 비교하여 선량의 차이를 파악한다.

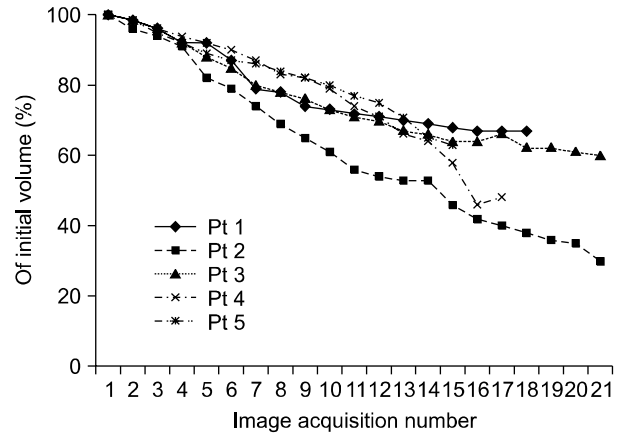


Fig. 4. The graph of GTV volume change.

결 과

1. GTV 체적변화

5명 환자의 GTV 체적의 변화를 파악해본 결과 치료 기간이 경과함에 따라 체적이 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. Pt 1의 경우는 9.43%/week, Pt 2의 경우는 4.12%/week, Pt 3의 경우는 5.59%/week, Pt 4의 경우는 8.58%/week, Pt 5의 경우는 7.84%/week의 감소를 나타냄을 알 수 있었으며, 치료가 진행됨에 따라 5명 환자의 GTV의 체적이 모두 감소하였고 이러한 체적의 감소는 이하선의 위치의 변화에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다(Table 2, Fig. 4).

2. 이하선의 좌표 변화

GTV의 체적 변화와 Lymph node, Muscle의 내부 변화로 인하여 이하선의 위치에도 변화가 발생한다. 이러한 위치 변

화는 앞에서 언급한바와 같이 고선량 영역으로 이하선의 위치를 변경하기 때문에 초기 치료계획에서의 선량에 비해 실질적으로 이하선에 보다 많은 선량이 전달되게 된다. 본 연구에서 이하선의 좌표 변화를 파악해본 결과 좌우(Left, Right)방향으로의 변화는 좌측방향으로는 0.4 cm, 우측 방향으로는 0.4 cm 변화하며, 머리 다리(Craniocaudal) 방향으로는 머리방향으로 0.3 cm, 다리방향으로 0.4 cm 움직이며, 전후방향(Anterior Posterior (AP))은 Anterior 방향으로 0.3 cm, Posterior 방향으로 0.3 cm 변화하였다. 또한 이하선의 좌표 변화에 의한 선량의 변화는 최초의 위치에 비해 적은 양이나 고선량 영역으로 이하선의 위치가 이동되어 처방 선량에 비해 높은 선량이 부여되었다(Table 3).

Table 3. The results of parotid gland coordinates change (cm)

Pt	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	-0.3~0.2	-0.2~0.2	-0.3~0.1
2	-0.4~0.1	-0.3~0.3	-0.3~0.2
3	0~0.4	-0.3~0.1	-0.1~0
4	-0.2~0.2	-0.4~0.1	-0.1~0.3
5	-0.2~0.3	-0.3~0.1	-0.2~0.3

Table 4. The results of parotid gland volume change (cm³)

Pt	LPV _{max}	LPV _{min}	RPV _{max}	RPV _{min}	LPV _{change}	RPV _{change}
1	31.650	23.490	30.650	24.210	4.54%/week	3.63%/week
2	14.928	13.179	11.009	10.467	1.54%/week	0.36%/week
3	24.849	15.086	33.586	24.877	5.73%/week	3.9%/week
4	16.021	8.5807	16.247	12.510	8.28%/week	3.66%/week
5	17.378	13.924	16.524	14.074	3.96%/week	3.01%/week

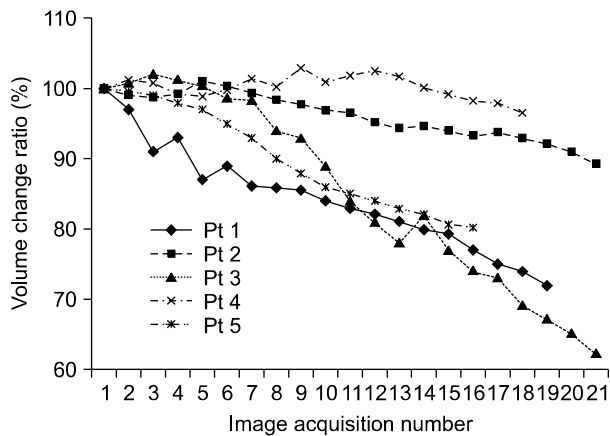


Fig. 5. The graph of Lt. parotid gland volume change.

3. 이하선의 체적 변화

GTV의 체적이 치료 진행됨에 따라 부여되는 선량에 의해서 변화됨을 알 수 있었다. GTV 외에 내부장기들 역시 방사선의 선량에 의해서 그 체적과 위치가 변화됨을 알 수 있었다.

본 연구에서 파악하고자 하는 이하선의 경우도 GTV와 마찬가지로 부여되는 선량에 의해서 그 체적이 변화됨을 알 수 있었다. 치료가 경과됨에 따라 획득한 KVCT 영상을 비교해본 결과 5명의 환자 모두에게서 체적의 변화가 나타남을 알 수 있었다. 좌측 이하선의 체적의 변화는 평균 4.81%/week (1.54~8.28%), 우측 이하선의 체적의 변화는 평균 2.9%/week (0.36~3.9%)의 감소를 나타내었다(Table 4, Fig. 5, 6).

4. 이하선의 선량 변화

이하선의 체적이 변화함에 따라 초기에 부여된 선량의 변화가 나타나게 된다. 변화된 체적에 따른 선량의 변화는 좌측 이하선의 선량은 과조사(Over dose) 영역의 평균 선량은 13.6% (100.9~119.5%)가 초기 선량에 비해 더 많이 부여되고, 저조사(Under dose)되는 영역의 평균 선량은 약 7% (74.3~99.8%)정도가 처방된 선량에 비해 적게 부여되었다. 우측

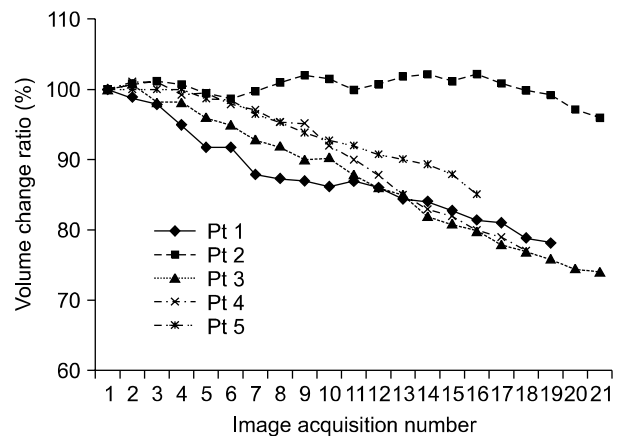


Fig. 6. The graph of Rt. parotid gland volume change.

Table 5. The results of Lt. parotid gland dose change (cGy)

Pt	LPD _{max}	LPD _{min}	LPD _{mean}	LPD _{int}	Max ratio (%)	Min ratio (%)
1	3,738	3,013	3,488	3,127	119.5	96.3
2	121	75.8	100.4	102	118.6	74.3
3	3,326	2,807	3,014	2,832	117.4	99.1
4	5,518	5,460	5,493	5,468	100.9	99.8
5	1,099	990	1,022	1,004	109.4	98.60

Table 6. The results of Rt. parotid gland dose change (cGy)

Pt	RPD _{max}	RPD _{min}	RPD _{mean}	RPD _{int}	MAX ratio (%)	Min ratio (%)
1	2,762	1,977	2,447	2,229	123	88.7
2	1,235	1,181	1,213	1,214	101.7	97.28
3	2,788	2,341	2,568	2,348	118.7	99.7
4	3,339	2,818	3,105	3,102	107.6	90.8
5	188	155	168	155.2	121.2	99.8

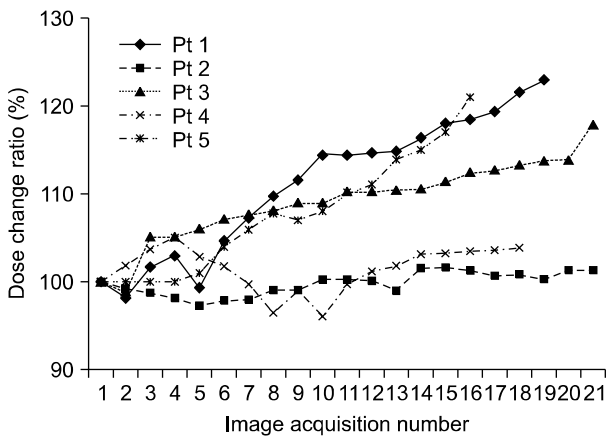


Fig. 7. The graph of daily Rt. parotid gland dose change.

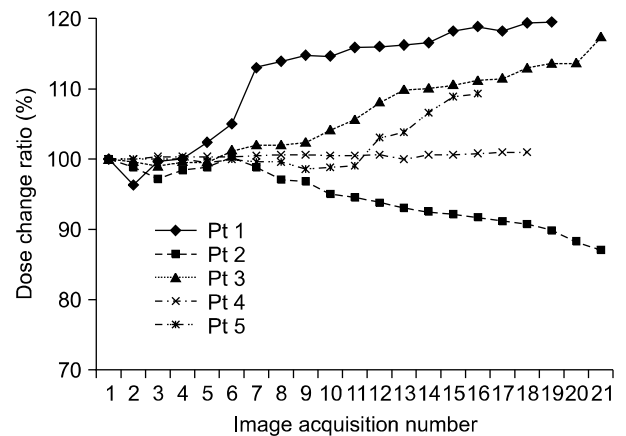


Fig. 8. The graph of daily Lt. parotid gland dose change.

이하선의 경우 과조사(Over dose) 영역의 평균 선량은 약 14.4% (101.7%~123%), 저조사(Under dose)되는 영역의 평균 선량은 약 4.74% (88.7%~99.8%)가 적게 부여되었다 (Table 5, 6, Fig. 7, 8).

고안 및 결론

CT on-rail System을 이용하여 획득한 영상을 기존에 사용 하였던 MVCBCT와 OBI System인 KVCBCT를 이용하여 획득한 영상과 비교하여 본 결과 MVCBCT의 영상에 비해 두 경부 주위의 내부 장기와 연부 조직의 관찰이 보다 더 우수함을 알 수 있었다. 또한 Cone beam의 형태를 이용하여 영상

을 획득하는 OBI System의 KVCBCT에 비해서도 영상이 보다 더 우수함을 알 수 있었다. 이러한 영상의 우수성은 기존에 두경부 부위의 치료 도중 환자의 체중 감소와 GTV의 체적의 변화, 내부 장기와 연부 조직의 체적 및 위치 변화 등을 보다 더 정확하게 확인할 수 있는 장점이 있다.

또한, 이러한 장점을 이용하여 두경부 부위 치료 시 치료 하기 전에 영상을 획득하여 환자 자세 및 표적위치, 해부학적 위치를 확인함으로써 환자에게 정확한 선량의 전달이 가능한 치료를 시행할 수 있다.

본 연구에서는 CT on-rail System을 이용하여 영상을 획득하여 두경부 부위를 치료 시 중요하게 여겨지는 이하선의 위치 변화를 파악해 보았으며, 치료가 경과함에 따라 GTV와

이하선의 체적이 변화함을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

또한 이하선의 체적 변화에 기인한 선량의 변화를 확인하였다. 그 결과 이하선의 체적이 감소함에 따라 부여되는 선량이 초기에 부여한 선량보다 최대 20% 이상의 선량이 부여되었으며, 최소 약 25%의 선량이 적게 부여된다는 결과를 얻을 수 있었다.

두경부 암을 치료함에 있어서 현재 치료전에 사용하는 CBCT의 경우는 환자의 해부학적 구조에 정확한 위치를 파악할 수 있지만 실질적인 체적의 변화에 대한 선량의 보정이 어렵다. 앞에 언급한 바와 같이 두경부 부위의 치료에 대한 치료 기간이 증가할수록 환자의 해부학적 구조 및 체적은 변화하게 되고 이러한 변화된 체적에 맞는 선량의 교정이 이루어지지 않는다면 치료계획 시 부여하고자 하는 선량이 초과되어 보호하고자 하는 장기의 손상을 초래하며 반대로 처방된 선량에 비해 보다 적은 선량이 부여됨으로 인하여 치료효율을 떨어뜨리고 종료된 후에 다른 부위로 전이될 위험성도 내포하고 있다.

따라서 환자의 치료 시 정확한 환자의 위치잡이와 치료 전 내부 장기에 대한 위치 확인과 함께 체적의 변화에 의한 선량의 보정이 필요하다. 이러한 치료 위치 확인 및 중요 장기의 체적의 변화를 고려한 선량 전달이 가능한 Adaptive Targeting Radiotherapy의 구축이 필요하다고 생각된다. 그러나 변화된 선량의 전달을 위하여 치료실에서 치료 전 영상 획득, 치료계획, 위치조정 등 일련의 과정에 소요되는 시간이 길어 환자의 위치가 처음 영상을 획득한 위치와 다르게 변화될 위험성이 높다. 따라서, 이러한 과정을 빠른 시간 내에 해결하고 환자에게 정확한 선량의 전달이 가능한 실시간 적응 방사선치료(Real Time Adaptive Targeting Radiotherapy)의 구축이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 유영승, 이화중, 김대영 등: 영상유도 방사선치료에서의 KV 콘빔CT 이용. 대한방사선치료학회지 2007;19:43-49
2. Court L, Rosen I, Mohan R, et al.: Evaluation of mechanical precision and alignment uncertainties for an integrated CT/LINAC system. Med Phys 2003;30:1198-1210
3. Wong JR, Cheng CW, Grimm L, et al.: Clinical implementation of the world's first primatom, a combination of CT scanner and linear accelerator, for precise tumor targeting and treatment. Phys Med 2001;17:271-276
4. Barker JL, Garden AS, Ang KK, et al.: Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2004;59:960-970
5. Lee C, Langen K, Kupelian P, et al.: Position and volumetric changes in parotid glands during head and neck radiation therapy assessed using deformable image registration. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2007;69:S203-S204
6. Robar JL, Day A, Clancey J, et al.: Spatial and dosimetric variability of organs at risk in head-and-neck intensity-modulated radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2007;68:1121-1130
7. Hansen EK, Bucci MK, Quivey JM, et al.: Repeat CT imaging and replanning during the course of IMRT for head-and-neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2006;64:355-362
8. Choonik Lee, Katja M, Weiguo Lu, et al.: Assessment of parotid gland dose changes during head and neck cancer radiotherapy using daily megavoltage computed tomography and deformable image registration. Int J Radiation Oncol Biol Phys 2008;71:1563-1571
9. Langen KM, Meeks SL, Poole DO, et al.: The use of megavoltage CT (MVCT) images for dose recomputations. Phys Med Biol 2005;50:4259-4276
10. Lu WG, Olivera GH, Chen Q, et al.: Deformable registration of the planning image (kVCT) and the daily images (MVCT) for adaptive radiation therapy. Phys Med Biol 2006;51:4357-4374

Abstract

Evaluation of Dose and Position Compensation of Parotid Gland Using CT On-rail System in Head-and-Neck Cancer

Hyeong Jun Jang, Chung Geun Im, Geum Sung Chun, Il Seon Jeong, Hoi Nam Kim

Department of Radiation Oncology, Catholic University Seoul St Mary's Hospital, Seoul, Korea

Purpose: The checking method of target and normal structure are used by MVCBCT, KVCBCT, CT On-rail System, Ultrasound in H&N cancer patient. In case of MVCT, the utilization of bone structure is valuable to check around tissue. But the utilization of soft tissue is not enough. The point of this paper is dose variation in movable parotid and changeable volume of H&N cancer patient of CT On-rail System.

Materials and Methods: The object of H&N cancer patient is 5 in this hospital. The selected patient are scanned ARTISTE CT Vision (CT On-rail System) a triweekly. After CT scanning, transferred coordinates are obtained by movable of parotid gland comparison with planning image. Checking for the changeable volume of parotid gland. A Obtained CT image are transferred to the RTP System. So dose variation are checked by following changed volume.

Results: The changes of target coordinate by the parotid gland movement are X: $-0.4\sim 0.4$ cm, Y: $-0.4\sim 0.3$ cm, Z: $-0.3\sim 0.3$ cm. the volume of GTV is decreased to about 7.11%/week and then both parotid gland volume are shrunked about 4.81%/week (Lt), 2.91%/week (Rt). At the same time, each parotid gland are diminished in radiation dose as 3.66%/week (Lt), 2.01%/week.

Conclusion: Images from CT on the rail System which are able to acquire the better quality images of soft tissue in Target area than MVCBCT. After replanning and dose redistribution by required images, It could gain not only the correction of the patient set-up errors but exact dose distribution. Accordingly, the delivery of compensated dose, It makes that we could do Adaptive Targeting Radiotherapy and need Real Time Adaptive Targeting Radiotherapy by reduce beam delivery time.

Key words: CT on-rail system, head and neck cancer, parotid gland, adaptive targeting radiotherapy