

총 두피 방사선치료 시 치료계획 방법에 따른 선량적 유용성 비교 평가

연세암병원 방사선종양학과

박별님 · 정동민 · 권용재 · 조용완 · 김세영 · 박광순 · 박령향 · 백종걸

목 적: 총 두피 방사선치료 시 정상 뇌 조직을 최대한 보호할 수 있도록 접선조사를 극대화하는 치료계획 및 장비를 선정하고자 하였다.

대상 및 방법: 인체 모형에 총 두피를 구획하여 치료 부위를 설정하고, 나선형 토모테라피(Helical Tomo-Therapy, HT) 계획, Complete Block을 이용한 나선형 토모테라피(Helical TomoTherapy with Complete Block, HTCБ) 계획 그리고 체적조절호형방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 계획을 수립하였다. 모든 치료계획은 처방 선량(40 Gy)의 95%가 들어가는 치료계획 용적이 체적의 95% 이상이 될 수 있도록, Dmax가 처방 선량의 110%를 넘지 않게 하였다. 치료계획은 뇌를 포함한 손상 위험 장기의 선량 비교를 실시하였으며 뇌 선량의 경우 Emami 등의 연구 결과의 정상조직 평가기준 체적을 참고하여 뇌 조직의 선량을 평가하였다.

결 과: HT, HTCБ, VMAT 각각 뇌 조직 선량 D_{33%}는 21.68 Gy, 13.75 Gy, 20.89 Gy, D_{67%}는 7.06 Gy, 3.21 Gy, 7.84 Gy, D_{100%}는 3.14 Gy, 1.75 Gy, 3.84 Gy, D_{mean}은 16.64 Gy, 11.78 Gy, 16.64 Gy로 HTCБ plan에서 전반적으로 선량이 낮았으며, 저선량은 5 Gy를 기준으로 체적을 구하였을 때 V_{5Gy}는 각각 87%, 49%, 96%로 나타났다.

이외의 시신경을 제외한 나머지(뇌줄기, 해마, 양측 안구)의 최대선량은 HTCБ에서 가장 낮았다.

결 론: 토모테라피에서 Complete Block을 적용하였을 때 전체 뇌 조직의 선량 감소와 더불어 뇌에 포함된 양쪽 해마 등의 손상 위험 장기의 선량을 가장 최소화해 방사선 유도 뇌 손상의 발생과 그로 인한 신경인지 기능 감소 등에 대한 부작용의 확률을 줄일 수 있는 치료계획임을 확인하였다. 향후에는 총 두피 조사 이외에도 다양한 부위에 치료되는 고리 형태의 표적(Ring Target)에 대한 추가적인 연구를 진행하여 접선 조사에 대한 이점을 확립하게 된다면 치료계획 시 접선조사 극대화를 위해 Complete Block을 사용한 토모테라피를 적용함으로써 선량적으로 유용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** 총 두피 방사선치료, 나선형 토모테라피, Complete Block, 체적조절호형방사선치료

서 론

혈관육종(Angiosarcoma)은 내피세포에서 발생하는 연조직의 희귀한 악성 종양이다. 특히 머리와 목 부위에 많이 발생할 수 있으며 국소적 확산과 동시다발적인 특성으

로 인해 급진적인 수술이 거의 불가능하기 때문에 총 두피 조사는 악성 흑색종, 림프종, 균상 식육종 등과 같은 다양한 암종을 포함하여 국소 재발을 방지하기 위한 방사선치료가 시행되고 있다. 그러나 두피의 범위가 광범위하고 불규칙하며, 정상 뇌 조직을 감싸고 있는 형태를 가지고 있어 총 두피 방사선치료 시 정상 뇌 조직에 들어가는 방사선량은 명확하지 않은 수많은 신경 병리학적 메커니즘을 통해 신경인지 발달과 시상하부, 뇌하수체 기능에 문제를 일으

책임저자: 박별님, 연세암병원 방사선종양학과
서울특별시 서대문구 신촌동 123
Tel: 02) 2228-4396
E-mail: aktnf1553@yuhs.ac

키는 것으로 알려져 있다.^(1, 2)

이처럼 방사선치료로 인한 방사선 유도 뇌 손상(Radiation-Induced Brain Injury, RIBI)은 측두엽 괴사 및 신경인지 기능(Neurocognitive Function, NCF) 저하를 포함한 후기 신경독성과 관련이 있어⁽³⁻⁶⁾, 총 두피 치료 시에 뇌 실질 선량과 함께 뇌에 포함되어 있는 여러 손상 위험 장기들에 대한 선량 감소를 목적으로 다양한 연구가 진행되어 왔다.⁽⁷⁻¹²⁾

초창기에는 주로 전자선 및 전자선과 엑스선을 병행한 3차원 입체조형방사선치료(Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy) 요법이 이용되었으나 선원-피부간의 거리(Source - Skin distance, SSD) 다양성 및 빔 발생 각도로 인한 굴곡부의 선량 균질성이 저하되는 현상과 조사면이 일치하는 접합부에서 고선량 및 저선량 영역이 불필요하게 발생하는 제한점을 근거로 세기조절 방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT) 방식이 대안으로 대두되었다.^(7, 10, 12)

세기조절 방사선치료의 경우 표적의 형태학적 특성상 다엽콜리메이터(Multi-Leaf Collimator, MLC)를 변조하여 접선조사를 이용하는 기하학적 특성이 요구되는데, 이는 치료계획 방법 및 장비 선정에 따라 선량적 결과에 영향을 줄 수 있다는 사례들이 보고 되어왔다.^(8, 10, 12)

이에 본 연구에서는 정상 뇌 조직을 최대한 보호할 수 있도록 접선조사를 극대화하는 Modality를 선정하기 위하여 나선형 토모테라피(Helical TomoTherapy, 이하 HT) 계획, Complete Block을 이용한 나선형 토모테라피 계획(Helical TomoTherapy with a Complete Block, 이하 HTCBlock) 그리고 체적 조절호형방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, 이하 VMAT) 계획에 대하여 비교 분석 및 평가하였다.

대상 및 방법

1. 전산화 단층촬영 및 표적 구획

인체 모형(ATOM phantom, Sun Nuclear Corporation, AU)에 Hard bolus(EZ bolus, Klarity Madi-

cal Product, USA)를 적용하였고, 모의 치료 계획(CT-simulation)을 위한 영상획득에는 Aquilion Exceed LB (Canon Medical System, USA) CT를 사용하였으며 슬라이스 두께(slice thickness)는 3mm로 하였다.

획득된 영상에서 표적 윤곽과 인체 모형에 존재하지 않는 양측 안구, 시신경, 수정체, 뇌줄기, 해마와 같은 정상 장기의 경우 실제 해부학적 구조의 3차원 체적을 바탕으로 참고하였다.

표적은 총 두피를 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV)으로 구획하였고 이에 5 mm margin을 치료 계획용적(Planning Target Volume, PTV)으로 설정하여 40 Gy(2 Gy/fx)로 처방선량을 설정하였다. 모든 치료 계획은 처방 선량의 95%(38 Gy)가 치료계획용적의 95% 이상이 될 수 있도록, Dmax가 처방 선량의 110%를 넘지 않도록 선량 계산하였다. 또한 MIM Maestro Software System(Version 7.17)을 이용하여 40 Gy가 PTV의 95%를 포함하도록 정규화(Normalization) 시킨 후에 비교 분석하였다.

1) 나선형 토모테라피(Helical TomoTherapy) 계획

토모테라피에서 전산화 치료계획 장치는 Precison(Version 2.0.1.1, Accuray, USA)을 사용하였으며 뇌의 체적에 조건을 설정하여 선량을 최적화시키는 방법의 일반적인 나선형 토모테라피(HT) 계획과 지정한 체적에는 입사 선속과 출사 되는 선속이 없도록 제한을 두어 선량을 최적화시키는 기능의 Complete Block을 사용한 방법(HTCB)으로 계획하였으며, 갠트리 기간(Gantry Period)이 장비 설명서에 권고되는 수치인 20초에 수렴되는 변조 계수(Modulation Factor)와 피치(Pitch)를 각각 적용하였고 조사면 너비(Field Width)는 2.5 cm을 사용하였다. Complete Block의 경우 뇌의 체적에서 각각 1 cm, 2 cm, 3 cm, 3.5 cm 축소하여 치료계획 진행한 결과 치료계획 용적에 대한 선량 조건을 충족하면서 정상 뇌조직을 가장 보호할 수 있었던 크기인 좌우 방향으로 3 cm, 상하 방향으로 1 cm 축소하여 정의하였고, 에너지는 6 MV, FFF(Flattening Filter Free)를 이용하였다.(Fig. 1, Table 1)

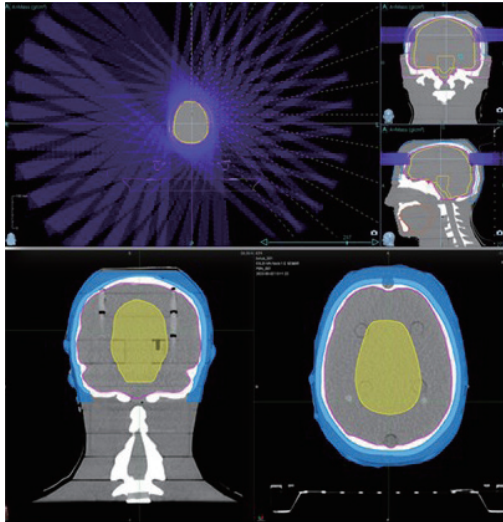


Fig. 1. TomoTherapy plan's tangential irradiation beam and defined blocks

2) 체적 조절 호형 방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, 이하 VMAT) 계획

VMAT 치료계획 장치는 RayStation(Version 5.0.2.35, Raystation laboratories, Sweden)를 사용하였으며 3개의 호(Arc)를 이용하여 카우치(cauch) 각도 0°, 갠트리(Gantry) 각도는 181°~179°로 설정하였고 콜리메이터 각도의 경우 해마의 각도를 따라 315°, 45°, 0°의 조건으로 치료계획 하였으며 에너지는 6 MV, FF(Flattening Filter)를 이용하였다.(Fig. 2)

2. 치료계획 평가

접선조사를 이용하여 중앙조직에 균일한 선량조사와 더불어 정상장기의 선량감소 평가를 위하여 우선 선량분포

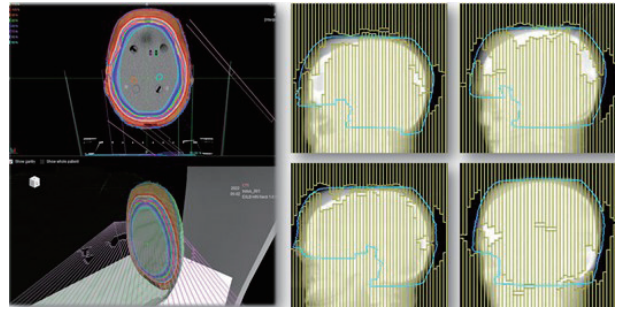


Fig. 2. MLC shape when using tangential irradiation at VMAT plan

의 균질도(Homogeneity Index, 이하 HI) [식 1] 와 일치도(Conformity Index, 이하 CI)[식 2] 를 구하였다.^(13, 14)

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- [식1]}$$

D_(5%) = Dose delivered to 5% of the PTV

D_(95%) = Dose delivered to 95% of the PTV

$$CI = \frac{V_{RI}}{TV} \text{ ----- [식2]}$$

V_{RI} = Volume of the reference isodose

TV = Target Volume

이는 CI 값과 HI 값 모두 1.0에 가까울수록 표적에 이상적인 선량 분포임을 나타낸다.

또한 모든 치료계획은 선형가속기(Versa HD, Elekta, SE)와 토모테라피(Radixact, Accuray)를 통해 빔을 조사하였고, 실제 선량차이(Dose difference, DD)와 거리상

Table 1. Comparison of treatment plans by complete block size

Block size	PTV		Brain				OAR							
	D _{0.03cc}	V _{100%} (%)	D _{33%}	D _{67%}	D _{100%}	D _{mean%}	Brain stem	Optic pathway	Hippocampus_		Hippocampus_		Lens_	Lens_
							Max*	Max*	Max*	Mean	Max*	Mean	Max*	Max*
-1 cm	54.71	95.02	4.79	3.09	2.15	6.94	16	26.71	2.67	2.47	2.92	2.54	5.62	5.52
-2cm	46.67	94.99	11.67	3.37	2.21	12.05	10	12.51	2.83	2.62	2.96	2.66	4.89	4.77
-3 cm	43.63	94.99	13.75	3.21	1.74	11.78	5.97	9.72	2.7	2.45	2.82	2.47	4.01	3.77
-3.5cm	44	95	28.71	8.02	2.84	19.38	7.54	9.16	5.25	3.78	5.74	3.86	4.34	4.21

* Max dose define 0.03 cc

의 일치(Distance-to-agreement, DTA)를 결합한 정량적 평가 방법인 감마 지수(Gamma Index)를 이용하여 선량 정확성을 검증하였다. 이를 바탕으로 검증된 치료계획에 대한 손상 위험 장기인 양측 안구, 시신경, 수정체, 뇌줄기, 해마의 선량 비교를 실시하였으며 뇌 선량의 경우 평균선량과 저선량 영역(V_{5Gy})의 체적과 Emami 등의 연구 결과의 정상조직 평가기준 체적을 참고하여 뇌 조직의 1/3($D_{33\%}$), 2/3($D_{67\%}$), 3/3($D_{100\%}$)의 선량을 평가하였고, 추가로 각 치료계획의 조사시간(Beam on time, 이하 BOT) 및 Monitor Unit(이하 MU)을 비교하였다.⁽¹⁵⁾

결 과

1. 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)에 대한 평가

치료계획용적에 처방선량이 95% 포함되도록 정규화(Normalization) 했을 때 HT와 HTCБ, VMAT의 CI 값은 모두 1.1이었고 HI 값은 각각 1.07, 1.07, 1.06 이었다.(Table 2)

또한 치료계획에 대한 선량 검증을 위하여 Delivery QA를 진행하였고 본원 감마 통과 비율 3 mm, 3%(95% 신뢰구간)의 기준을 충족하였다.(Fig. 3)

2. 손상 위험 장기(organ at risk, OAR)에 대한 선량 비교

HT, HTCБ, VMAT 각각 뇌 조직 선량 $D_{(33\%)}$ 는 21.68 Gy, 13.75 Gy, 20.89 Gy, $D_{(67\%)}$ 는 7.06 Gy, 3.21 Gy, 7.84 Gy, $D_{100\%}$ 는 3.14 Gy, 1.75 Gy, 3.84 Gy, D_{mean} 은 16.64 Gy, 11.78 Gy, 16.64 Gy로 HTCБ plan에서 전반적으로 선량이 낮게 나타났다.(Table 2, Fig. 4) 저선량은 5 Gy를 기준으로 체적을 구하였을 때 V_{5Gy} 는 각각 87%,

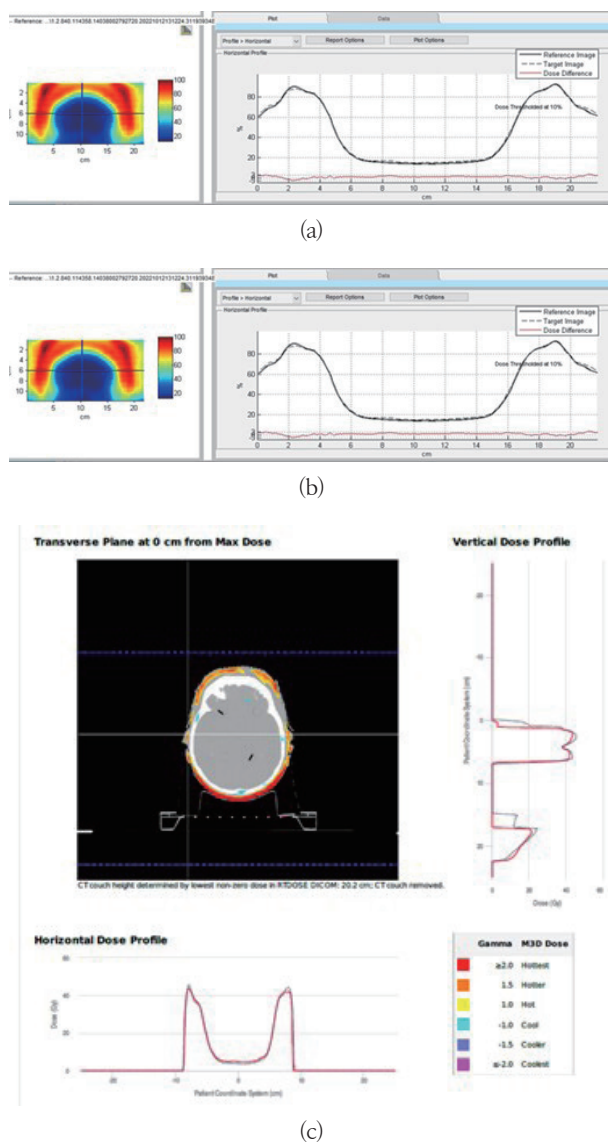


Fig. 3. Delivery Quality Assurance about treatment plans
 a) Helical TomoTherapy
 b) Helical TomoTherapy with Complete Block
 c) Volumetric Modulated Arc Therapy,

Table 2. Comparison of treatment plans

	Target		Brain				Efficiency	
	CI	HI	$D_{33\%}$	$D_{67\%}$	$D_{100\%}$	D_{mean}	MU	BOT(SEC)
HT	1.1	1.07	21.68	7.06	3.14	16.64	5538	322
HTCБ	1.1	1.07	13.75	3.21	1.75	11.78	8107	470
VMAT	1.1	1.06	20.89	7.84	3.84	16.64	1340	227

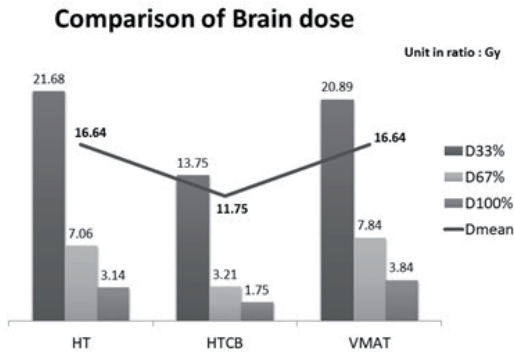


Fig. 4. Comparison of brain dose

49%, 96%로 나타났다. (Fig. 5)

이외의 선량에서도 같은 조건의 제한 값을 걸어 최적화 (Optimization) 한 치료계획에서 시신경을 제외한 나머지 (뇌줄기, 해마, 양측 안구)의 최대선량은 HTC에서 가장 낮았다.(Table 3)

3. MU 및 조사시간

방사선 치료의 효율성을 평가하기 위하여 MU 및 조사 시간을 비교하였으며, 조사시간은 HT와 HTC, VMAT이 각각 322, 470, 227초로 VMAT이 가장 낮았고, MU 값은 5538, 8106, 1340로 VMAT에서 가장 낮은 결과치를 보였다.(Table 2)

Table 3. OAR results of HT, HTC and VMAT plan

		HT	HTC	VMAT
Brain stem	Max*	7.13	5.97	6.16
Optic_pathway	Max*	9.17	9.72	7.26
Hippocampus_RT	Max*	5.81	2.7	6.37
	Mean	4.38	2.45	5.7
Hippocampus_LT	Max*	6.07	2.82	6.84
	Mean	4.34	2.47	5.59
Lens_R	Max*	4.02	4.01	4.75
Lens_L	Max*	4.03	3.77	4.48

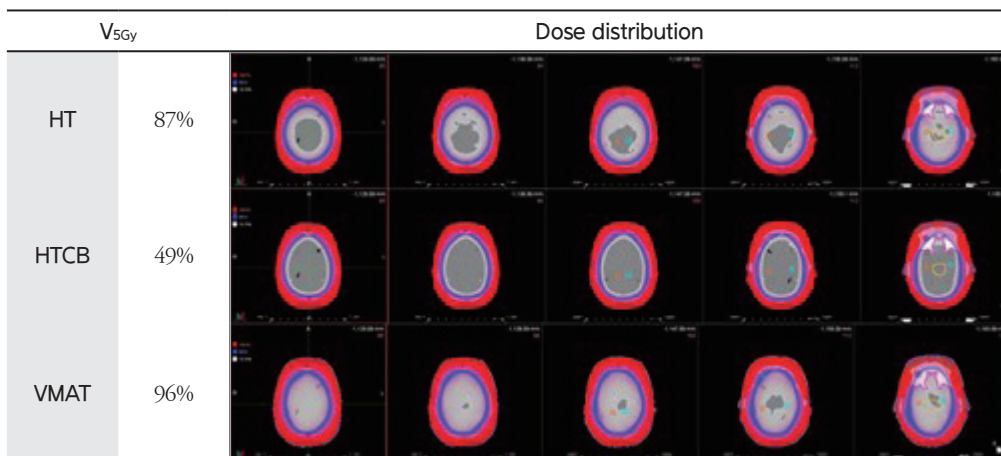
* Max dose define 0.03 cc

고안 및 결론

뇌에 대한 저선량 방사선 영향은 혈액 뇌 장벽을 교란하기 때문에 방사선치료 유도 혈액 뇌 장벽 파괴와 그에 따른 화학요법에 의한 신경독성을 저감하기 위해서는 해마의 선량 감소와 더불어 전체 뇌 방사선량을 최소화하는 것이 중요할 수 있다.⁽³⁾

이에 본 연구에서는 접선조사의 이점을 갖는 치료계획 방법 및 장비 선정을 위하여 HT, HTC, VMAT의 치료계획에 대한 정상 뇌 조직에 들어가는 선량 분포를 비교하고 평가하였다.

그 결과 모든 치료계획에서 치료계획용적에 처방선량



1, Red Line - 40 Gy (100% dose) 2, Blue Line - 20 Gy (50% dose) 3, White Line - 5 Gy (12.5% dose)

Fig. 5. Dose distribution of the brain by treatment plan

이 95% 포함되도록 정규화 했을 때 HT와 HTCB, VMAT plan의 CI 값은 모두 1.1이었고 HI 값은 각각 1.07, 1.07, 1.06으로 치료계획 용적에 대한 평가 지수의 차이는 크지 않았다.

그러나 뇌 조직 선량의 경우 HTCB plan에서 $D_{33\%}$, $D_{67\%}$, $D_{100\%}$ 가 13.75 Gy, 3.21 Gy, 1.75 Gy로 가장 낮게 나타났으며 평균선량에서도 HTCB plan은 11.78 Gy이었고, HT와 VMAT plan은 16.64Gy로 동일하게 나타났다.

V_{5Gy} 의 경우 HT, VMAT plan에서 각각 87%, 96%로 나타난 반면 HTCB plan에서는 49%로 최대 47%까지 저선량 영역을 감소시키는 결과를 나타냈으며 해마 최대선량의 경우 HTCB Plan에서 좌측 2.82 Gy, 우측 2.7 Gy에 비하여 VMAT plan에서는 좌측 6.84 Gy, 우측 6.37 Gy로 약 4 Gy 가량 줄일 수 있었다. 추가로 비교한 MU 값과 BOT는 세가지 치료계획 중 VMAT plan에서 가장 낮게 나타났다. 이러한 연구 결과를 통해 VMAT의 경우 MU 값과 BOT가 낮다는 강점은 치료시간의 감소가 우선적인 환자에게 유용할 것으로 사료되며, 더불어 토모테라피의 선량 분포가 VMAT보다 이점을 갖는다는 기존의 연구 결과와는 다르게 VMAT 또한 충분히 토모테라피와 비슷한 분포의 정상 뇌 조직 평균선량을 구현해 낼 수 있다는 결과를 확인할 수 있었다.⁽⁷⁾

그러나 신경인지 기능의 경우 낮은 선량에서도 영향을 받을 수 있다는 점은 저선량 영역이 효과적으로 감소했던 토모테라피가 좋은 대안으로 생각되며⁽¹⁶⁾

그 이유는 토모테라피는 구조적으로 등간격 빔 투영 시 세기 변조를 할 수 있는 이진 다엽콜리메이터(Binary MLC)와 나선형 피치를 통해 모든 복셀에 대해 세기 변조의 자유도를 높일 수 있는 고유의 기하학적 특성을 가지고 저선량 영역을 효과적으로 제한할 수 있기 때문이다.⁽¹⁷⁾ 또한 RTOG 연구에 따르면 양성 및 저급(Low grade) 뇌종양에 대한 분할 뇌 방사선 조사 시 회당 방사선량 2 Gy(Equivalent dose in 2 Gy, EQD2)의 생물학적 등가 선량(2 Gy의 α/β 비율을 가정)이 7.3 Gy 보다 큰 선량에서 양쪽 해마의 신경 인지 기능 손상과 관련이 있다고 보고된 바 있는데 Complete Block을 이용하였을 때 전체 뇌 조직의 선량 감소와 더불어 뇌에 포함된 양쪽 해마 등의 손상 위험 장기의 선량을 최소화할 수 있었으며, 이를 통해

방사선 유도 뇌 손상의 발생과 그로 인한 신경인지 기능 감소 등에 대한 부작용의 확률을 줄일 수 있는 치료계획임을 확인할 수 있었다.⁽¹⁸⁾

추후에는 총 두피 조사 이외에도 복부 및 상지, 하지 등 다양한 부위에 치료되는 고리 형태의 표적(Ring Target)에 대한 접선 조사의 이점을 확립하는 추가적인 연구가 이뤄진다면 환자와 치료실에 부담 요소를 증가시키지 않고도 Complete Block을 사용한 토모테라피 치료계획을 적용함으로써 선량적으로 유용한 결과를 얻어낼 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Wolden SL, Barker CA, Kushner BH, et al.: Brain-sparing radiotherapy for neuroblastoma skull metastases. *Pediatric Blood & Cancer* 2008;50(6):1163-1168.
2. Tofilon PJ, John RF : The radioresponse of the central nervous system: a dynamic process. *Radiation research* 2000;153(4):357-370.
3. Dunlop A, Welsh L, McQuaid D, et al.: Brain-sparing methods for IMRT of head and neck cancer. *PLoS One* 2015;10(3):e0120141.
4. Lee PW, Hung BK, Woo EK, et al.: Effects of radiation therapy on neuropsychological functioning in patients with nasopharyngeal carcinoma. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 1989;52(4):488-492.
5. Abayomi OK : Pathogenesis of cognitive decline following therapeutic irradiation for head and neck tumors. *Acta Oncologica* 2002;41(4):346-351.
6. Cheung MC, Chan AS, Law SC. et al.: Cognitive function of patients with nasopharyngeal carcinoma with and without temporal lobe radionecrosis. *Archives of Neurology* 2000;57(9):1347-1352.

7. Song JH, Jung JY, Park HW, et al.: Dosimetric comparison of three different treatment modalities for total scalp irradiation: the conventional lateral photon-electron technique, Helical TomoTherapy, and volumetric-modulated arc therapy. *Journal of radiation research* 2015;56(4):717-726.
8. Mizuno T, Tomita N, Takaoka T, et al.: Dosimetric comparison of Helical TomoTherapy, volumetric-modulated arc therapy, and intensity-modulated proton therapy for angiosarcoma of the scalp. *Technology in Cancer Research & Treatment* 2021;20:1533
9. Wojcicka JB, Lasher DE, McAfee SS, et al.: Dosimetric comparison of three different treatment techniques in extensive scalp lesion irradiation. *Radiotherapy and Oncology* 2009;91(2):255-260.
10. Ostheimer C, Hubsch P, Janich M, et al.: Dosimetric comparison of intensity-modulated radiotherapy(IMRT) and volumetric modulated arc therapy(VMAT) in total scalp irradiation: a single institutional experience. *Radiation oncology journal* 2016;34(4):313.
11. Agazaryan N, Tenn S, Liu A, et al.: SU-GG-T-573: Total Scalp Irradiation: Comparison between Volumetric Modulated Arc Therapy, Helical TomoTherapy and Conventional Electron and Photon Field Combination. *Medical Physics* 2010;37(6Part25):3319-3319.
12. Orton N, Jaradat H, Welsh J, et al.: Total scalp irradiation using Helical TomoTherapy. *Medical Dosimetry* 2005;30(3):162-168.
13. Kataria T, Sharma K, Subramani V, et al.: Homogeneity Index: An objective tool for assessment of conformal radiation treatments. *Journal of medical physics/Association of Medical Physicists of India* 2012;37(4):207.
14. Menon SV, Paramu R, Bhasi S, et al.: Evaluation of plan quality metrics in stereotactic radiosurgery/radiotherapy in the treatment plans of arteriovenous malformations. *Journal of medical physics* 2018;43(4):214.
15. Emami B, Lyman J, Brown A, et al.: Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics* 1991;21(1):109-122.
16. Mizumatsu S, Monje ML, Morhardt DR, et al.: Extreme sensitivity of adult neurogenesis to low doses of X-irradiation. *Cancer research* 2003;63(14):4021-4027.
17. Rong Y, Welsh JS: Dosimetric and clinical review of Helical TomoTherapy. *Expert review of anticancer therapy* 2011;11(2):309-320.
18. Gondi V, Hermann BP, Mehta MP, et al.: Hippocampal dosimetry predicts neurocognitive function impairment after fractionated stereotactic radiotherapy for benign or low-grade adult brain tumors. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics* 2012;83(4):e487-e493.

A Comparative Evaluation of Dosal Usefulness in Total Scalp Irradiation according to Treatment Plans and Methods

Department Of Radiation Oncology, Yonsei University Yonsei Cancer Center

**Park byeal nim, Jung dong min, Kwon yong jae, Cho yong wan,
Kim se young, Park kwang soon, Park ryeong hwang, Baek jong geol**

Objective: The purpose of this study is to choose a treatment plan and equipment to maximize tangential irradiation to protect the normal brain tissues as much as possible during total scalp irradiation.

Subjects and Methods: After zoning the total scalp of a phantom and selecting a target area for treatment, the study made a Helical TomoTherapy(HT) plan, a Helical TomoTherapy with a Complete Block(HTCB) plan, and a Volumetric Modulated Arc Therapy(VMAT) plan. All of these plans made sure that the volume of a treatment plan with 95% of a prescription dose(40 Gy) would not exceed 95% of the entire volume and that Dmax would not be more than 110% of the prescription dose. The therapy plans compared doses among organs at risk of damage including the brain. Doses in the brain tissues were assessed based on the volumetric criteria for normal tissues in Emami et al.

Results: HT, HTCB, and VMAT had a dose of 21.68 Gy, 13.75 Gy, and 20.89 Gy, respectively, in brain tissues at D_{33%}, a dose of 7.06 Gy, 3.21 Gy, and 7.84 Gy, respectively, at D_{67%}, and a dose of 3.14 Gy, 1.75 Gy, and 3.84 Gy, respectively, at D_{100%}. They recorded a D_{mean} of 16.64 Gy, 11.78 Gy, and 16.64 Gy, respectively. These results show that the overall dose was low in the HTCB plan. When the volume of a low dose was calculated based on 5 Gy, they recorded 87%, 49%, and 96%, respectively, in V_{5Gy}. In addition, the maximum dose in the remaining organ(brain stem, hippocampus, and both lenses) except for the optic pathway was the lowest in HTCB

Conclusion: The findings demonstrate that TomoTherapy with a complete block minimized a dose in organs at risk of damage including the brain and hippocampus on both sides and accordingly reduced the probability of side effects such as radiation-induced brain injuries and a resulting decrease in neurocognitive functions. In addition to total scalp irradiation, if additional studies on ring targets treated in various areas are conducted to establish the benefits of tangential irradiation, it is believed that TomoTherapy using Complete Block can be used to maximize tangential irradiation in treatment planning.

▶ **Keyword:** Total scalp irradiation, Helical TomoTherapy, Complete Block, Volumetric Modulated Arc Therapy