

감마나이프 방사선 수술 치료계획에서 선량분포 계산 프로그램에 관한 연구

경기대학교 의학물리학과¹

서울중앙병원 신경외과²

고영은¹, 이동준², 권수일¹

감마나이프를 이용하는 정위적 방사선 수술 치료계획 프로그램 중에서 선량계산 프로그램을 PC에서 작성하고, 작성한 프로그램 GP1(Gamma Project 1)을 상용화된 치료계획 프로그램인 KULA와 비교하여 선량분포 50% 지점에서 등선량분포의 차이와 편차를 계산함으로써 GP1을 평가하고자 한다. 또한 radiochromic 필름에 감마나이프로 방사선을 조사하여 선량분포를 계산하고, 이를 KULA, GP1에 의한 선량분포와 비교하여 GP1을 검증하고자 한다. 프로그램 작성은 프로그램 제작 언어인 IDL(Interactive Data Language)을 사용하였으며, 선량계산 알고리즘은 상용 치료계획 프로그램인 KULA의 알고리즘을 사용하였다. GP1을 평가하기 위해 반경이 80 mm인 구형 팬텀 중심에서 각 콜리메이터마다 세 방향(측상면, 시상면, 관상면)에서의 선량분포를 계산하고, 이를 KULA에 의한 선량분포와 비교하였다. 또한 팬텀내 임의의 한 지점에서 GP1과 KULA에 의한 선량분포를 비교하여 두 프로그램간의 선량분포 차이를 계산하였다. 이를 검증하기 위해 팬텀 내부에 radiochromic 필름을 장치하여 방사선을 조사한 후 필름의 선량분포를 상용화된 프로그램 KULA와 본 연구에서 작성한 프로그램 GP1에 의한 선량분포와 비교하여 그 차이를 확인하였다. 그 결과 팬텀 중심에서 GP1과 KULA에 의한 선량분포는 50% 선량분포에서 $\pm 3\%$ 이내의 편차를 나타내었으며, 임의의 지점에서든 같은 결과를 보여주었다. 콜리메이터 크기가 작고 선량분포의 값이 작을수록 두 프로그램의 차이가 커짐을 알 수 있었다. GP1 검증을 위한 필름에서의 선량분포 또한 두 프로그램에서의 선량분포와 잘 일치함을 알 수 있었다. 이로써 치료계획시 GP1에 의한 선량분포의 사용이 가능성을 확인하였다.

중심단어 : 정위적 방사선 수술, 감마나이프 치료계획 프로그램, 선량분포 계산

서 론

정위적 방사선 수술은 두개내의 작은 병소에 한번에 집중적으로 고선량의 방사선을 조사하여 병소를 치료하는 수술 방법이다. 이 수술 방법의 핵심은 두개내의 중요기관과 목표물 주위의 정상조직에는 최소한의 선량만이 도달하여 방사선에 의한 피해를 최소화 하고, 목표물에 방사선을 정확히 조사하여 치료하는 것이다.¹⁻⁷ 정위적 방사선 수술을 시행하는 대표적인 장비로는 Cobalt-60을 방사선원으로 사용하는 감마나이프가 있으며, 이 장비를 이용하여 두개내의 심부에 위치한 병소를 효과적으로 치료할 수 있다. 감마나이프에 의한 방사선 분포는 위치가 정해진 목표

물에서부터 수 mm만 떨어져도 선량이 급격히 감소하는 특징을 나타낸다.⁴⁻⁵ 이러한 정위적 방사선 수술에서 요구되는 조건은 우선 목표물의 위치가 3차원 공간 내에서 정확히 결정되어야 하고, 계획된 선량이 목표물에 정확히 조사되어야 한다.¹⁰⁻¹²

그러므로 정위적 방사선 수술에서는 목표물의 위치를 결정하여 목표물에 방사선을 조사하기에 앞서 치료계획을 세우는 것이 중요하다. 상용화된 감마나이프 치료계획 시스템 KULA(KULA System, version 5.1, Elekta Instrument, Sweden)는 워크스테이션에서 실행되는 프로그램으로 선량계산시 계산 영역을 $31 \times 31 \times 31$ 매트릭스로 나누고 이것을 다시 $11 \times 11 \times 11$ 매트릭스로 전환하여 그 사이를 선형보간법으

로 계산하는 방식을 사용하고 있다.

본 연구에서는 감마나이프를 이용한 정위적 방사선 수술 치료계획에서 선량분포 계산 프로그램을 PC에서 작성하여 이 프로그램을 GP1(Gamma Project1)이라 하였다. GP1을 이용하여 두개내 임의의 목표점에 정확하게 선량을 전달하고, 목표점에 전달된 선량 중 선량분포 50%지점을 기준으로 그 이상지점과 이하지점에서의 선량을 확인하고자 한다. 이를 평가하기 위해 작성한 프로그램을 상용 치료계획 프로그램인 KULA와 비교하여 선량분포 50% 지점에서 등선량분포의 차이와 편차를 계산하였다. 또한 구형 팬텀 중심에 radiochromic 필름을 장치하여 감마나이프로 방사선을 조사하고 이때의 선량분포를 계산하였다.

이를 KULA에 의한 선량분포, GP1에 의한 선량분포와 함께 비교하여 GP1을 검증하고자 한다.

재료 및 방법

선량분포 계산 프로그램인 GP1의 작성은 data 분석용 프로그램 제작 언어인 IDL(Interactive Data Language, Version 5.0 1997, Research System Inc., USA)을 이용하였다. 방사선원의 좌표를 계산하기 위해서 감마나이프 콜리메이터 헬멧 설계도와 기하학적인 상수들을 이용하였고, 선량계산 알고리즘은 상용 감마나이프 치료계획 시스템인 KULA 시스템의 알고리즘을 이용하였다. GP1에 의한 선량분포를 분석하기 위해서 KULA의 선량분포와 비교하였고, 또한 GP1을 검증하기 위해 반지름이 80 mm 구형 팬텀의 중심에 radiochromic 필름(GAFCHROMIC™, MD-55, No. 37-041, Victoreen, USA)을 장치하여 감마나이프로 방사선을 조사한 후 얻은 선량분포를 GP1에 의한 선량분포와 비교하였다.

1. 방사선원의 위치 좌표 입력

감마나이프 방사선 장치에 내장되어 있는 201개의 방사선원들의 위치좌표는 제작자가 공개하지 않으므로 그 좌표값을 확인할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 콜리메이터 헬멧에 분포되어 있는 콜리메이터의 분포 형태를 나타내주는 콜리메이터 헬멧 설계도와 선원에서 초점까지의 거리 403 mm, 초점

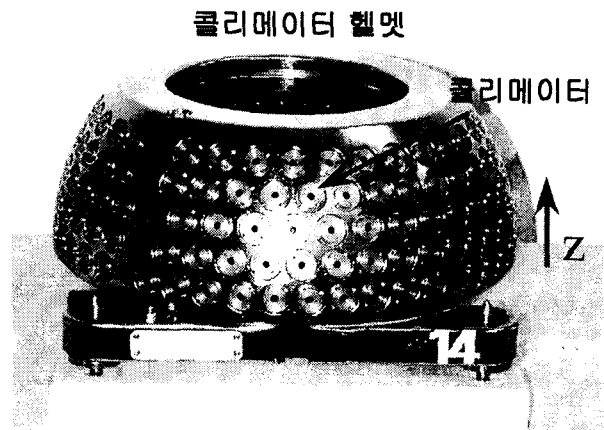


그림 1. 콜리메이터 헬멧

의 좌표(100, 100, 100) 등 기하학적인 상수들을 이용하여 고정되어 있는 방사선원의 3차원적인 위치좌표를 찾았다. 콜리메이터 헬멧은 반구형태로 환자 테이블에 고정되어 치료에 사용되며, 각각의 콜리메이터에 의한 beam profile의 반폭치(FWHM, Full Width of Half Maximum)에 따라 18 mm, 14 mm, 8 mm, 4mm의 4종류가 있다. 헬멧의 콜리메이터들은 초점을 지나는 z축의 $\pm 36^\circ$ 사이에 5줄(A_{line} : 6° , B_{line} : 13.5° , C_{line} : 23° , D_{line} : 27.5° , E_{line} : 36°)의 평행한 고리 형태로 배열되어 있고, 이런 콜리메이터들을 통해 조사되는 방사선은 선원으로부터 403 mm 떨어진 콜리메이터 헬멧의 중심점에서 중첩된다. 따라서 콜리메이터 헬멧에 분포하는 콜리메이터들의 분포 형태는 방사선원의 분포 형태와 일치한다.

2. 팬텀에서의 선량 분포 계산

프로그램 GP1에서 선량계산은 반지름이 80 mm인 구형 팬텀을 고려하여 이루어졌으며, 팬텀 내에서 선량계산 영역은 $50 \times 50 \times 50$ 매트릭스로 정하여 계산하였고, 각각의 매트릭스 사이는 1.0 mm로 하였다.

GP1을 이용하여 구형 팬텀 중심에서의 선량분포를 4종류의 콜리메이터(18 mm, 14 mm, 8 mm, 4 mm)별로 계산하고, 동일한 조건에서 KULA에 의한 선량분포를 계산하였다. 또한 GP1을 평가하기 위해서 18 mm 콜리메이터를 사용하여 구형 팬텀내 임의의 한 지점에서의 선량분포를 계산하고, 동일한 지점에

서 KULA에 의한 선량분포를 계산하였다.

선량계산 알고리즘은 KULA의 알고리즘을 이용하였고⁸, 여기서 선량계산은 선형보간법과 감쇄계수를 이용하여 계산하였다.

임의의 선원 i 에서 목표물까지의 선량 D 의 계산식은 다음과 같다.

$$D = \frac{D_i}{\sum_i D_i} \left(\frac{d_{SFD}}{d_{SFD} - dz} \right)^2 e^{-\mu dz} P(t) \quad (1)$$

이를 이용하여 임의의 선원 i 에서 팬텀의 중심으로 방사선을 조사할 때 팬텀의 중심에서의 선량 D_{pc} 는 다음과 같다.

$$D_{pc} = e^{-\mu(80-10)} \left(\frac{d_{SFD} - 70}{d_{SFD}} \right)^2 \quad (2)$$

D_{pc} 는 beam line 위에서 기준점(reference point)의 위치를 팬텀의 표면에서 깊이 10 mm 되는 지점으로, 그 지점에서 최대 선량을 가질 때 팬텀 중심에서의 선량을 나타내며 SFD는 source에서 focus까지의 거리, μ 는 감쇄계수(0.0063/mm)이다.

임의의 선원에서 팬텀의 중심을 향해 방사선을 조사할 때 팬텀내 임의의 좌표에서의 선량 D_{piso} 는 다음과 같다.

$$D_{piso} = D_{pc} \cdot e^{-\mu d} = \frac{D_{pc}}{\sum_i D_{pc}} \cdot e^{-\mu(80+d-10)} \left(\frac{d_{SFD} - 70}{d_{SFD}} \right)^2 \quad (3)$$

($\because d^* = 80+d$ 라 하면)

$$D_{piso} = \frac{D_{pc}}{\sum_i D_{pc}} \cdot e^{-\mu(d^* - 10)} \cdot \left(\frac{d_{SFD} - 70}{d_{SFD}} \right)^2 \quad (4)$$

D_{piso} 는 기준점의 위치를 팬텀의 표면에서 깊이 10 mm 되는 지점이라 할 때, 팬텀내 임의의 좌표에서의 선량을 나타낸다.

여기서 두 가지의 가정을 세워서 알고리즘을 단순화하면,

가정 1. 기준점을 초점이라 하면

$$D_{pc} = 1$$

가정 2. 선량률(dose rate)을 1로 둔다.

$$\frac{D_{pc}}{\sum_i D_{pc}} = 1$$

가정 1, 2에 의해서

$$D_{piso} = 1 \cdot 1 \cdot e^{-\mu(d^* - 80)} = e^{-\mu d} \quad (5)$$

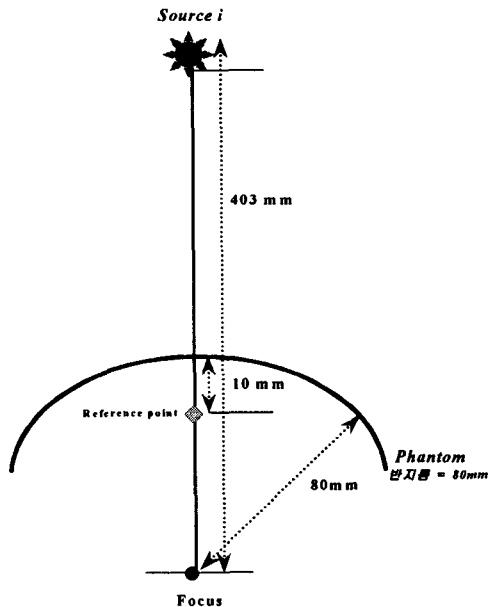


그림 2. 반지름이 80 mm인 구형 팬텀에서 기준점이 팬텀의 표면에서 깊이 10 mm 떨어진 지점 일 경우, 팬텀 중심에서의 선량계산

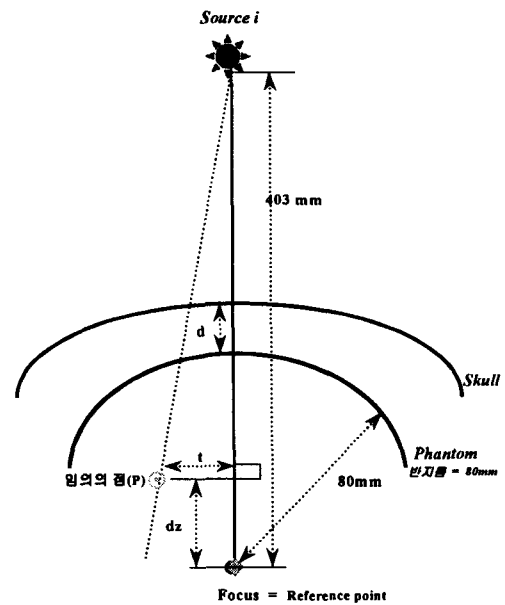


그림 3. 반지름이 80 mm인 구형 팬텀에서 기준점이 초점과 일치 할 경우의 선량분포 계산.

팬텀내 임의의 한 지점에서의 선량을 D_{iso} 라 하면

$$D_{iso} = D_{piso} P(t) e^{-\mu dz} \left(\frac{d_{SFD}}{d_{SFD} - dz} \right)^2 \quad \text{---- (6)}$$

$P(t)$: Transverse dose at distance t from focus

위의 식을 정하면, 팬텀내 임의의 한 지점에서의 선량 D_{iso} 은 다음과 같다.

$$D_{iso} = 1 \cdot e^{-\mu d} P(t) \cdot e^{-\mu dz} \left(\frac{d_{SFD}}{d_{SFD} - dz} \right)^2 \quad (7)$$

3. 프로그램의 비교, 검증

(1) 팬텀 중심(100, 100, 100)에서의 선량 분포 확인

PC에서 작성한 프로그램 GP1의 확인을 위해 80 mm 구형 팬텀의 중심에서 4 종류의 콜리메이터를 사용하여 GP1에 의한 선량분포와 KULA에 의한 선량분포를 세 방향(축상면, 관상면, 시상면)에서 계산하였다. 두 프로그램에 의해 계산된 선량분포에서 각각의 beam profile을 비교하여 등선량분포의 차이와 편차를 계산하였으며, 본 연구에서 찾은 방사선원의 위치좌표의 타당성 여부를 확인하였다.

(2) 팬텀내 임의의 좌표에서 선량분포 확인

팬텀의 중심에서와 다른 조건에서 GP1을 평가하기 위해 구형 팬텀의 임의의 한 지점(80, 80, 100)에서의 선량분포를 18 mm 콜리메이터에 대하여 계산하였다. GP1에 의한 선량분포와 KULA에 의한 선량분포를 축상면, 관상면, 시상면에서 비교하였다.

팬텀 중심에서와 마찬가지로 계산된 두 프로그램의 선량분포에서 beam profile을 비교하여 등선량분포의 차이와 편차를 계산하였다.

(3) 프로그램 검증

본 연구에서는 GP1을 상용 프로그램인 KULA와 비교하는 평가 외에 감마나이프로 방사선을 조사했을 때의 선량을 계산하여 실측에 의한 선량분포와 두 프로그램에 의한 선량분포를 비교하여 GP1을 검증하였다. 이때 선량측정은 필름을 이용하였다.

GP1을 검증하기 위해 구형 팬텀의 중심에 radio-

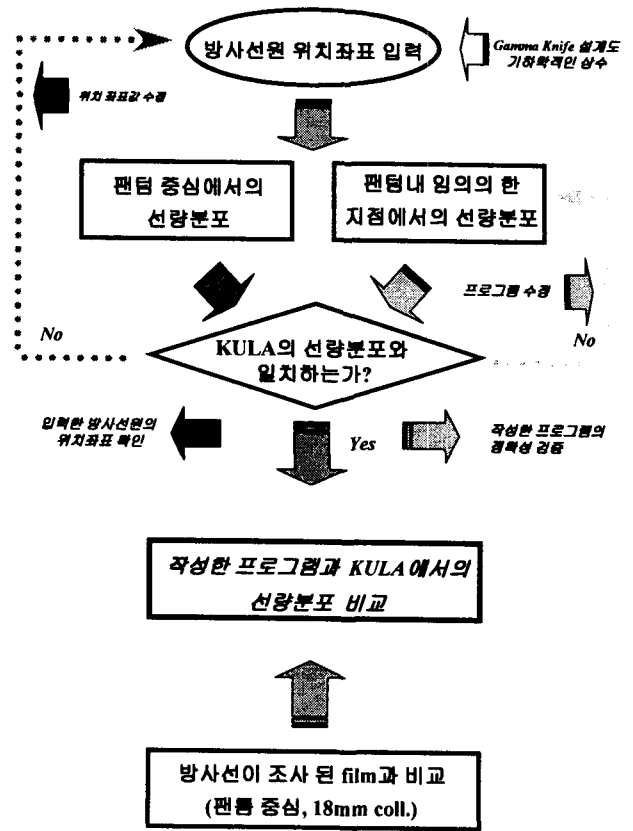


그림 4. 선량분포 계산의 흐름도

chromic 필름을 장치하여 감마나이프로 방사선을 조사하였다. 이때 필름의 선량분포와 GP1의 선량분포를 비교하였다. 본 연구에서 사용한 radiochromic 필름은 전체 크기 5×5 inch, 123 μm 두께의 필름으로 연한 푸른색을 띄고 있으나, 방사선이 조사되면 짙은 코발트색으로 변색되고, 조사 받은 정도에 따라 색의 진하기(광학 밀도 ; optical density)가 변한다. 또한 방사선 조사 후 24시간이 지난 후에 읽어야 안정된 광학 밀도를 나타낸다. 이렇게 필름에 나타나는 광학 밀도를 이용하여 조사된 방사선의 양을 측정할 수 있다. 이 필름은 100 μm 두께의 폴리에스터 위에 23 μm 두께의 polymer 센서 층이 코팅되어 있어 일반적인 radiochromic 필름(2 μm 두께의 polymer 센서 층)보다 고감도의 필름으로 room-light에서 사용하며 Co-60 동위원소의 경우 2 Gy~200 Gy까지 측정이 가능하다. Sou-Tung Chiu-Tsao의 실험¹⁵에 의하면 이 필름은 100 Gy 이상의 고선량에서도 좋은 선형성을 나타내므로 고선량 측정에 유용하다는 것이

표 1. 세 방향에서 KULA와 GP1의 선량분포 차이

collimator size (mm)	axial			coronal			sagittal		
	KULA	GP1	Difference (mm)	KULA	GP1	Difference (mm)	KULA	GP1	Difference (mm)
18	12.10	12.32	±0.22	12.25	12.43	±0.18	12.20	12.57	±0.37
14	9.50	9.59	±0.09	9.70	9.57	±0.13	9.50	9.73	±0.23
8	5.70	5.84	±0.14	5.70	5.84	±0.14	5.70	5.73	±0.03
4	3.05	2.97	±0.08	3.05	2.97	±0.08	3.05	2.97	±0.08

밝혀졌다.

결과 및 토의

1. 팬텀 중심에서의 선량분포 비교

본 연구에서는 감마나이프를 사용하는 정위적 방사선 수술 치료계획 프로그램 중에서 기존에 워크스테이션에서 실행되던 선량분포 계산 프로그램을 PC에서 작성하여 상용프로그램에 의한 선량분포와 작성한 PC 프로그램에 의한 선량분포를 비교하고자 하였다.

선량 계산에 앞서 공개되지 않은 감마나이프 방사선원의 위치좌표를 감마나이프 콜리메이터 설계도와 기하학적인 상수를 이용하여 찾았다. 본 연구에서 찾은 방사선원의 위치좌표는 실측에 의해 찾은 것이 아니므로 실제 방사선원의 위치좌표와 차이가 있을 수 있다. 따라서 80 mm 구형 팬텀 중심에서 작성한 프로그램 GP1에 의한 선량분포와 KULA에 의한 선량분포에서 beam profile의 등선량분포의 차이를 비교하여 찾아낸 방사선원의 위치좌표의 타당성

여부를 확인하였다.

선량계산 알고리즘은 KULA의 알고리즘을 두 가지 가정을 세워서 단순화 하여 사용하였으며, 두 프로그램의 선량분포를 4 종류의 콜리메이터마다 축방향, 관상방향, 시상방향에서 계산하여 50% 선량분포 지점에서 두 프로그램의 등선량분포 차이를 비교하였다. 18 mm 콜리메이터를 사용한 경우, 축상면에서 GP1에 의한 선량분포와 KULA에 의한 선량분포는 50% 지점에서 0.22 mm의 차이를 나타내었고 이때의 편차는 1.82%를 나타내었다. 선량분포 90~40% 지점에서도 ±0.3 mm 이하의 결과를 얻었고, 이때의 편차 또한 ±3% 이내를 나타내었다. 그러나 관상면과 시상면에서는 각각 ±0.08 mm~±0.47 mm, ±0.08 mm~±0.61 mm의 차이를 나타내었다.

이 결과로 선량분포 50% 이하, 30~10% 지점에서는 두 프로그램의 차이가 50% 지점에서보다 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 나머지 다른 크기의 콜리메이터를 사용하여 계산한 선량분포도 18 mm 콜리메이터의 결과와 마찬가지로 축상면에서는 ±0.3 mm 이내의 결과를 나타내었으나, 관상면이나 시상면에서는 선량분포 50% 이하의 지점에서 축방향에서의 차이보다 더 커짐을 알 수 있었다.

또한 콜리메이터의 크기가 4 mm인 경우 18 mm 콜리메이터에서 보다 편차가 더 큰 결과를 나타내었는데 이것은 콜리메이터 크기가 작을수록 등선량분포의 크기도 작아지고, 따라서 18 mm 콜리메이터의 선량분포 반경을 계산하는 간격보다 4 mm 콜리메이터의 선량분포를 계산하는 간격이 작으므로 편차가 커지게 된다고 생각된다.

표 2. 세 방향에서 KULA와 GP1과의 편차

Collimator size (mm)	Deviation (%)		
	axial	coronal	sagittal
18	±1.82	±1.47	±3.03
14	±0.95	±1.34	±2.42
8	±2.46	±2.46	±0.53
4	±2.62	±2.62	±2.62

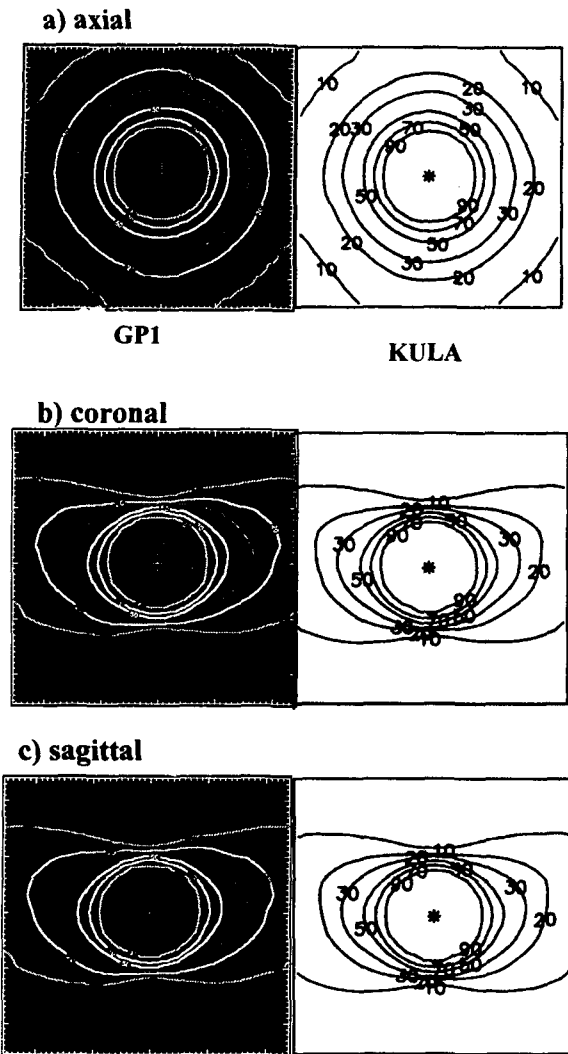


그림 5. 18mm 콜리메이터를 사용한 경우, 세 방향에서 GPI와 KULA의 isodose volume의 비교. a) axial, b) coronal, c) sagittal

2. 팬텀내 임의의 좌표에서 계산한 선량분포 비교

본 연구에서는 작성한 프로그램 GPI의 정확성을 비교하기 위해 초점을 팬텀내 임의의 좌표 (80, 80, 100)로 정하고 이 위치에서의 GPI에 의한 선량분포와 KULA에 의한 선량분포를 비교하여, 그 차이와 편차를 계산하였다.

여기서는 18 mm 콜리메이터 한 종류만을 사용하여 축방향, 관상방향, 시상방향에서 선량분포를 비교하였고, 팬텀 중심에서와 마찬가지로 선량분포 50% 지점에서 등선량분포의 차이와 편차를 계산하였다.

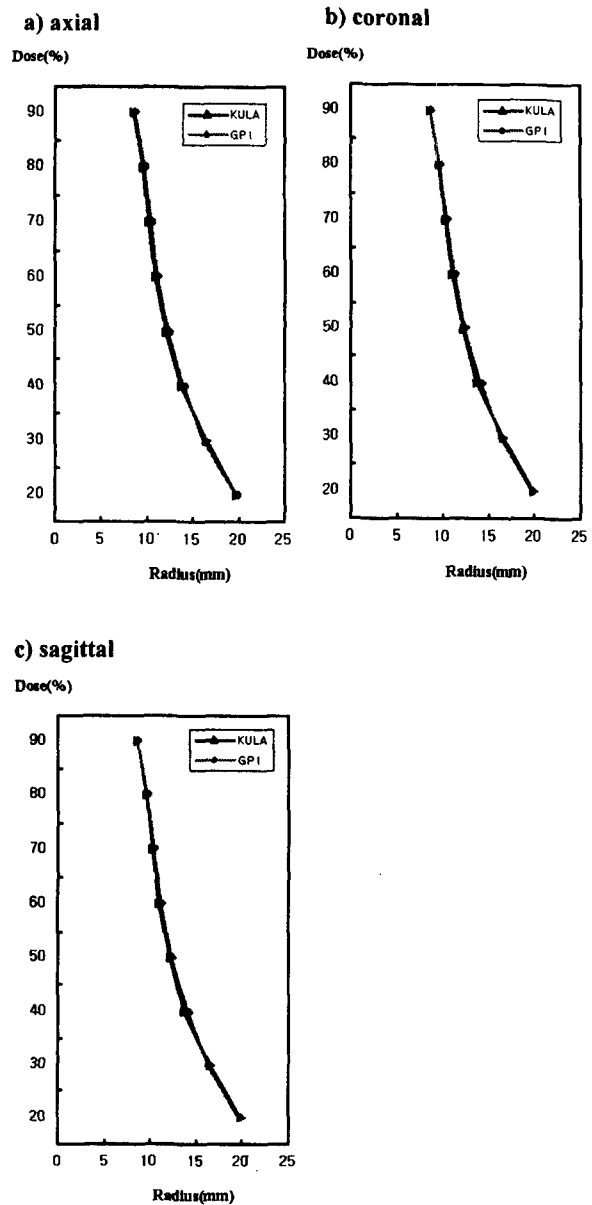


그림 6. 18 mm 콜리메이터의 사용한 경우, 세 방향에서의 GPI와 KULA의 beam profile 비교. a) axial, b) coronal, c) sagittal

그 결과, 축방향 선량분포 50%인 지점에서 두 프로그램의 등선량분포는 0.24 mm의 차이를 나타내었으나, 선량분포 90%~10% 지점의 차이는 ± 0.2 mm ~ ± 0.97 mm까지 나타내었다. 이때 선량분포 90%~50% 지점에서는 ± 0.3 mm 이내의 차이와 $\pm 0.3\%$ 이내의 편차를 나타내었지만, 선량분포 30%~10% 이하 지점에서는 등선량분포의 차이가 ± 0.5 mm 이상의 결과를 나타내었다.

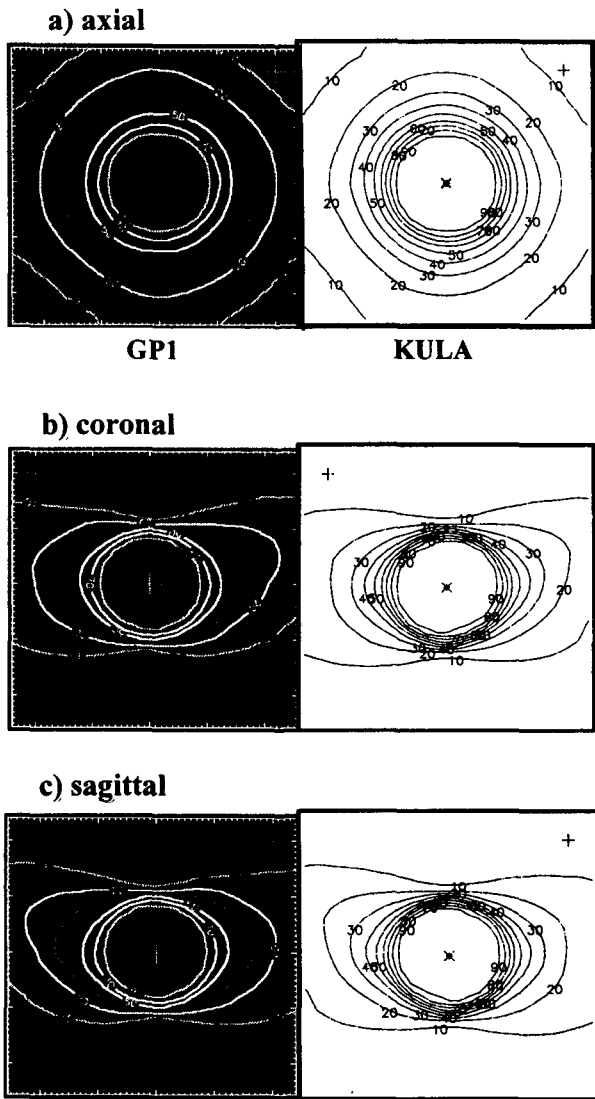


그림 7. 18 mm 콜리메이터를 사용한 경우, 세 방향에서 GP1과 KULA의 isodose volume의 비교. a) axial, b) coronal, c) sagittal

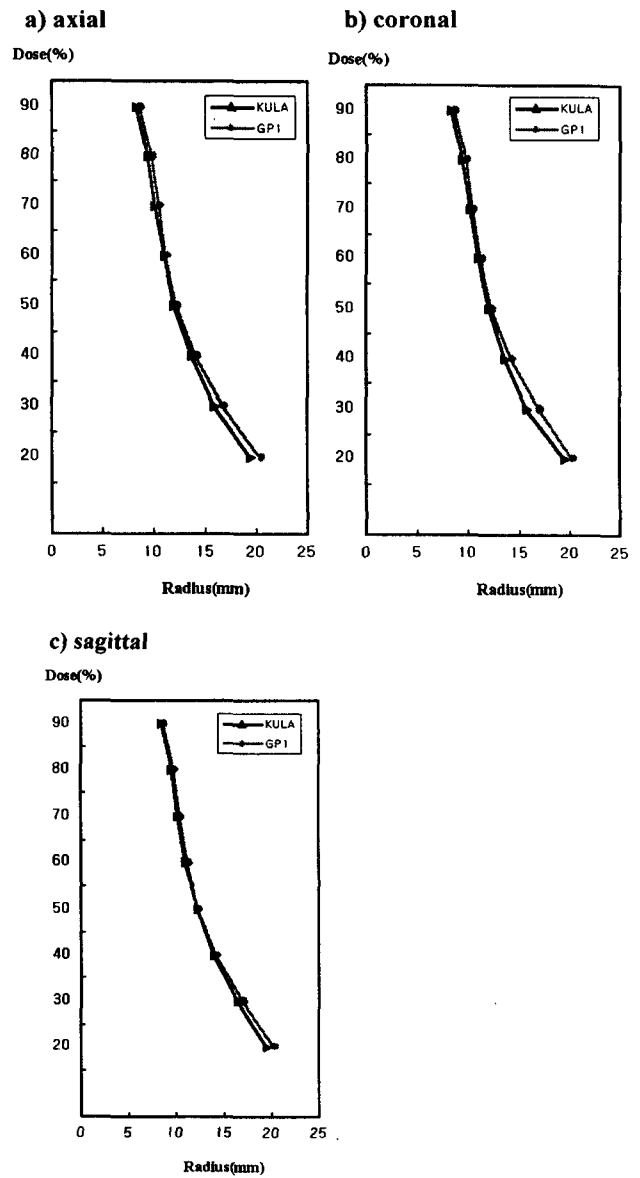


그림 8. 18 mm 콜리메이터를 사용한 경우, 임의의 한 지점에서의 beam profile 비교. a) axial, b) coronal, c) sagittal

3. 프로그램 검증

본 연구에서는 GP1의 검증을 위해 고선량에 적합한 고감도의 radiochromic 필름을 사용하여 GP1과 KULA에 의한 선량분포를 필름에 의한 선량분포와 비교하였다. 이 필름을 구형 팬텀의 중심에 장치하고 4 종류의 콜리메이터를 사용하여 감마나이프로 40 Gy의 방사선을 조사한 후 축방향에서 필름의 선량분포를 측정하여 필름의 beam profile을 작성하였다. GP1과 KULA에 의한 선량분포의 beam profile들과 필름의 beam profile을 50% 선량분포 지점에

서 비교하면 그 차이가 각각 ± 0.3 mm 이내이고, 이때의 편차 또한 $\pm 3\%$ 이하의 결과를 나타내었다. 그러나 선량분포 50% 이하, 30%~10%의 지점에서는 필름과 두 프로그램이 ± 0.5 mm 이상의 차이를 보였다. 또한 위의 팬텀 중심에서의 결과 그리고 임의의 한 지점에서의 결과와 마찬가지로 콜리메이터의 크기가 작을수록 더 큰 편차를 나타내었다. 이는 콜리메이터 크기가 작을수록 등선량분포의 크기도 작아지므로 선량분포의 실제 차이가 크지 않더라도 편차는 커지게 된다.

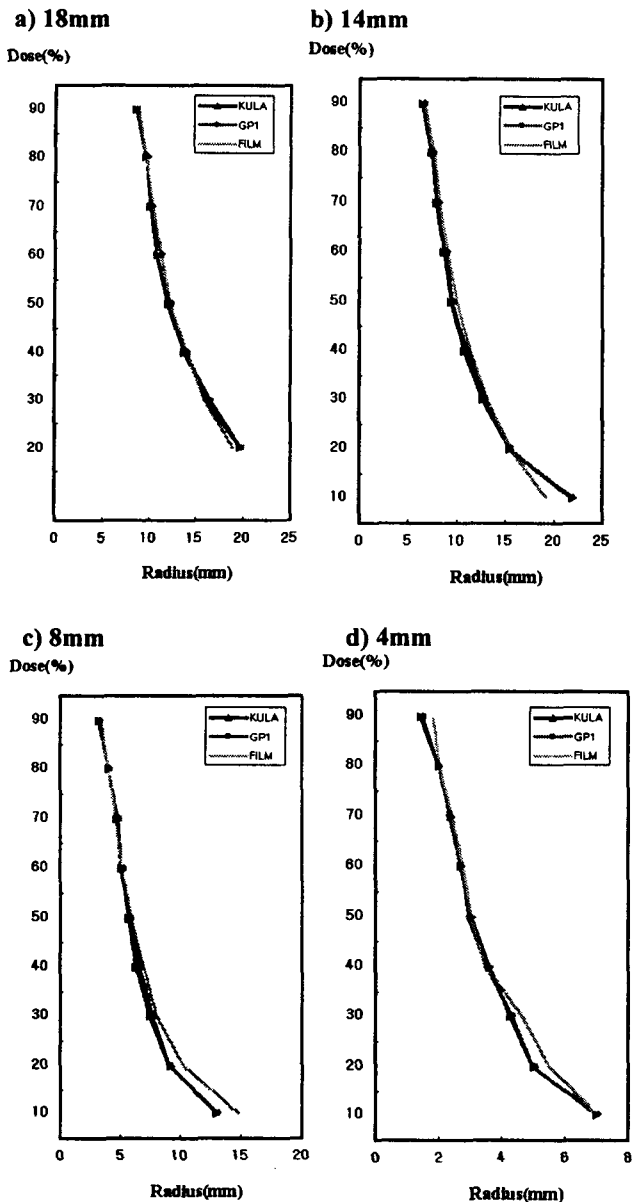


그림 9. 세 방향에서 각 콜리메이터마다 KULA, GP1, radiochromic 필름의 beam profile 비교. a) 18 mm, b) 14 mm, c) 8 mm, d) 4 mm

결 론

본 연구는 정위적 방사선 수술을 수행하기에 앞서 치료계획을 세우기 위한 프로그램 중에서 선량분포 계산 프로그램에 관한 연구이다.

본 연구에서는 기존 워크스테이션에서 실행되던 선량분포 계산 프로그램을 PC에서 작성하였고, 이를 같은 알고리즘을 사용하는 상용프로그램인 KULA와 비교하였다. 선량계산을 하기 위해 공개되지 않은

감마나이프 방사선 장치 내부에 위치한 201개의 방사선원의 위치좌표를 콜리메이터 설계도와 기하학적인 상수를 이용하여 찾을 수 있었고, 이를 프로그램에 적용하여 선량분포를 계산하였다.

GP1과 KULA에 의한 선량분포를 비교하기 위해 반지름 80 mm인 구형 팬텀을 이용하였다. 팬텀의 중심에서 두 프로그램의 차이를 선량분포 50%인 지점에서 비교한 결과, 4 종류의 콜리메이터 모두 ± 0.3 mm 이내의 차이를 나타내었고, 편차도 $\pm 3\%$ 이내의 값을 나타내었다. 또한 콜리메이터 종류마다 세 방향에서 같은 결과를 나타내었으나, 축방향에서의 결과가 다른 두 방향에서의 결과보다 잘 일치함을 알 수 있었다.

이와 같은 결과를 수치적인 결과로 분석해 보면, 콜리메이터의 크기가 작고 선량분포 값이 작을수록 두 프로그램의 차이가 커짐을 알 수 있었다. 팬텀내 임의의 지점에서 선량분포를 비교해 본 결과, 팬텀 중심에서와 마찬가지로 선량분포 50% 지점에서는 $\pm 3\%$ 이내의 편차를 나타내었으나, 30~10%의 지점에서는 팬텀 중심에서의 결과보다 차이가 더 큼을 알 수 있었다.

이로써 본 연구에서 찾은 방사선원의 위치좌표를 확인할 수 있었고, 또한 GP1에 의한 선량분포가 KULA에 의한 선량분포와 $\pm 3\%$ 의 편차로 잘 일치함을 알 수 있었다.

이를 검증하기 위해 사용한 radiochromic 필름의 선량분포와 두 프로그램에 의한 선량분포를 비교한 결과도 선량분포 50% 지점에서 ± 0.3 mm 이내의 차이를 나타내므로 본 연구에서 작성한 선량분포 계산 프로그램인 GP1이 선량분포 계산에 사용 가능하다고 생각된다.

참고문헌

1. Christer Lindquist, Dheerendra Prasad: Technical aspects of Gamma Knife stereotactic radiosurgery, *Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery*, Chapter 78, 669-685, Mcgraw-Hill Health Professions Division (1998)
2. L. Dade Lunsford, John Flickinger, Glenn Lindner, et al.: Stereotactic Radiosurgery of the Brain Using the First United State 201

- Cobalt-60 Source Gamma Knife, Neurosurgery 24:151-159 (1989)
3. Robert J. Coffey: Stereotactic radiosurgery and Focused beam irradiation, *Principles of Neurosurgery*, Chapter 42, 1-18
 4. Andrew Wu: Physics and Dosimetry of the Gamma Knife. Neurosurgery clinics of North America 3:35-50, January (1992)
 5. Andrew Wu, G. Lindner, A.H. Maitz, et. al.: Physics of gamma knife approach on convergent beams in stereotactic radiosurgery. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 18:941-949 (1990)
 6. Gary Luxton, Zbigniew Petrovich, et. al.: Stereotactic Radiosurgery: principles and comparison of treatment methods, Neurosurgery 32(2):241-259, February (1993)
 7. Daniel Yeung, Jatinder Palta, et. al.: Systematic analysis of errors in target localization and treatment delivery in stereotactic radiosurgery (SRS). Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 28: 493-498 (1994)
 8. Leksell Stereotactic System LEKSELL GAMMA UNIT: Technical description and specification of stereotactic radiosurgery, Elekta, March (1989)
 9. THE LEKSELL STEREOTACTIC GAMMA UNIT, Background information, Elekta, March, (1989)
 10. Robert L. Siddon, Norman H. Barth, et. al.: Stereotaxic localization of intracranial targets. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 13:1241-1246 (1987)
 11. G.B. Pike, Ervin B. Podgrsak, et. al.: Dose distributions in radiosurgery. Med. Phys. 17: 296-304 (1990)
 12. Gary Luxton, Gabor Jozsef: Single isocenter treatment planning for homogeneous dose delivery to nonspherical targets in multiarc linear accelerator radiosurgery. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 31:635-643 (1995)
 13. Marcello Benassi, Francesco Paolo Gentile: A treatment planning system for stereotactic tolerance: An analysis of neurodiagnostic imaging changes after gamma knife radiosurgery of arteriovenous malformations, Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 23:19-26 (1992)
 14. 조병철, 오도훈, 배훈식: 뇌정위 방사선 수술을 위한 컴퓨터 치료계획시스템 개발. 의학물리 8: 17-23 (1997)
 15. Sou-Tung Chiu-Tsao, Albert de la Zerda, et. al.: High-sensitivity GafChromic film dosimetry for ^{125}I seed. Med. Phys. 21:651-657 (1994)
 16. John C. Flickinger, L. Dade Lunsford, Andrew Wu, et. al.: Treatment planning for gamma knife radiosurgery with multiple isocenters. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 18:1495-1501 (1990)

A Study on Dose Distribution Programs in Gamma Knife Stereotactic Radiosurgery

Young Eun Ko[†] , Dong Joon Lee[‡] , Soo-Il Kwon[†]

Dept. of Medical Physics Konggi University[†]

Dept. of Neurological Asan Medical Center[‡]

The dose distribution evaluation program for the stereotactic radiosurgery treatment planning system using a gamma knife has been built in order to work on PC. And this custom-made dose distribution is compared with that of commercial treatment planning program.

201 source position of a radiation unit were determined manually using a gamma knife collimator draft and geometrical coordinates. Dose evaluation algorithm was modified for our purpose from the original KULA, a commercial treatment planning program. With the composed program, dose distribution at the center of a spherical phantom, 80 mm in diameter, was evaluated into axial, coronal and sagittal image per each collimator.

Along with this evaluated data, the dose distribution at a arbitrary point of inside the phantom was compared with those from KULA. Radiochromic film was set up at the center of the phantom and was irradiated by gamma knife, for the verification of dose distribution.

In result, the deviation of the dose distribution from that of KULA is less than $\pm 3\%$, which is equivalent to ± 0.3 mm in 50% isodose distribution for all examined coordinates and film verification. The custom-made program, GPI is proven to be a good tool for the stereotactic radiosurgery treatment planning program.

KEY WORDS : Stereotactic radiosurgery, Dose distribution, Treatment planning program