

Personal Computer를 이용한 3차원적 뇌정위적 방사선 치료계획

서 태석

가톨릭대학교 의과대학 방사선과학교실

서덕영

생산기술연구원, HDTV개발사업단

박찬일, 하성환, 강위생

서울대학교 의과대학 치료방사선과

초록

최근 3차원적인 영상 데이터 및 방사선량 분포에 대한 정보를 필요로하는 뇌정위적 방사선 치료계획이 절실히 요구되고 있다. 본연구의 목적은 personal computer를 이용하여 3차원적인 환자영상 데이터 및 선량분포를 함께 처리할 수 있는 치료계획 시스템을 개발하는 데 있다.

본 연구를 위한 처리 과정은 크게 3단계로 나누어 수행된다. 첫째, 환자영상 데이터 입력과정으로서, CT, MRI 등 단층촬영영상을 on-line 및 digitizer 방식을 통하여 personal computer에 입력시킨다. 병소위치 및 모양도 Angio 및 CT localization 방법을 이용하여 함께 입력시킨다. 둘째, 선량계산 단계로서, stereotactic frame 좌표로 변환된 영상내에서 선량 분포를 계산하고 환자영상 데이터 및 치료기의 조사조건등에 따라 최적 선량분포를 얻는다. 셋째, display과정으로서, 임의의 단층영상 및 재구성 영상내에서 환자영상과 방사선량에 대한 영상을 합성하여 computer monitor를 통하여 단일 영상내에 동시에 표출할 수 있도록 처리한다.

본 연구의 치료계획 시스템을 응용한 바 치료계획을 신속하고 정확하게 처리할 수 있었으며, Angio, CT 혹은 MRI와 같은 여러형태의 영상내에서 선량분포를 동시에 표출함으로써 능률적인 치료계획을 세울 수 있었다. 이와같은 치료계획의 자동화 시스템은 지금까지 어려웠던 3차원적인 뇌정위적 방사선치료계획을 가능케 하며, 추후 beam's eye view나 CT simulation을 통한 일반적인 3차원 방사선 치료계획에도 크게 이바지할 것으로 기대된다.

1. 서 론

본 논문에서는 방사선수술에 사용되는 선량분포 계획 및 영상 처리 기술을 소개한다. 방사선 수술을 위한 병소위치 발견, 최적의 방사선 선량 분포계획 및 디스플레이 등에는 컴퓨터 비전, 삼차원 가시화 기술, 최적화 이론, 지식기반시스템, 등을 위해 개발된 여러가지 기술이 이용된다.

뇌정위적 방사선 수술이란 임상적으로 개발된 좌표계에서 병소의 위치를 찾아내어 방사선을 병소부위에 집중적으로 조사하여 이를 파괴시키거나 생물학적 효과를 유도하는 치료 방법을 말한다. 두부를 절개하여 시행되는 신경 외과적 수술 방법대신에 이용되어 왔으며 특히 작은 크기의 동정맥기형이나 뇌종양 치료에 효과가 있는 것으로 보고되어왔다. 현재 이와 같은 치료방법으로서 여러 형태의 방사선이 이용되고 있다. 201개의 코발트선을 이용하는 Gamma Knife¹, Cyclotron 또는 Synchrocyclotron으로부터 얻어지는 heavy-charged particle을 이용하

는 방법^{3,4}, 선형가속기로부터의 X-ray 이용법^{5,6} 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 처음 두방법에 비해 훨씬 경제적이고 활용 범위가 넓은 LINAC을 이용한 방법을 중점적으로 다루고자 한다. 아직까지도 LINAC을 이용하는 치료계획 과정의 많은 부분이 수동으로 처리되는데 이에 따라 치료계획의 부정확해지고 치료시간이 지연되고 있다. 본 연구의 목적은 이용하기 쉽고 경제적인 personal computer를 이용하여 3차원적인 환자 영상 데이터 및 선량분포를 동시에 자동으로 처리할 수 있는 치료계획 시스템을 개발하는 데 있다.

본 연구를 위한 시스템 개발과정은 환자 영상 데이터 입력 단계, 방사선량 분포계획, 디스플레이 단계, 이렇게 세부분으로 크게 나눌 수 있다. 첫째, 환자 영상 데이터 입력과정으로서, CT, MRI 등 단층촬영 영상 및 뇌혈관 촬영 영상을 컴퓨터 온-라인 및 film digitizer 방식을 이용한다. 여기서는 여러장의 단층촬영영상으로부터 병소부위의 contour를 찾아내고, 병소부위의 중심부에서 표피까지 거리를 계산하게 된다. 표피의 contour는 대개 쉽게 찾아낼 수 있지만, 병소부위는 주위와 구별이 쉽지 않기 때문에 주로 의사들이 직접 contour를 그리게 된다. 또한 첫번째 단계에서는 X-ray 투영촬영 및 단층촬영을 이용하여 방사선 조사기기의 좌표계와 인체의 좌표계의 상관관계를 찾게되는데, 이를 위해서 기준 좌표계 시스템의 특성에 따라 여러가지 방법이 개발되어 있다^{7,8}.

방사선량 분포단계는 전단계에서 얻어진 환자좌표계내에서 선량이 어떻게 분포하는가를 구하는 단계이다. 어떤 부위의 방사선량은 source에서부터 거리, 그 부위의 조직의 종류, source의 세기와 조사 방향, 조사 면적, 등 여러가지 변수의 함수로 표시된다. 병소부위에는 방사선이 많이 조사되고, 반대로 중요한 기관(critical organ, 시신경이나 brain stem등)에는 적게 조사되도록 방사선량의 삼차원 분포를 조절하는 최적화 문제가 발생한다⁹.

디스플레이 단계에서는 어떠한 임의의 각도에서도 단층영상과 방사선량분포를 한눈에 볼 수 있도록 영상을 합성해내는 기술이 필요하다. 고속으로 영상을 합성하기 위해서는 사용하는 computer의 계산능력과 기억용량에 맞추어 효과적인 algorithm을 적용하여야 한다.

2. 방법 및 결과

국내에는 여러 형태의 방사선치료기가 도입되어 이용되고 있으나, 자동화된 3차원적 방사선 치료계획이 활성화 되지않아, 이와같이 정교한 과정을 요하는 치료 계획에는 어려움이 많다. 다음은 본 연구에서 시행된 세단계 과정에 대해서 방법 및 결과에 대해 논하고자 한다.

2. 1 환자 영상 입력 과정

인체 내부에 있는 병소부위를 찾아내기 위하여 단층촬영 영상이나 투사 영상을 이용한다. 뇌정위적 방사선수술로 주로 시행되는 질병으로는 뇌종양(brain tumor)과 동정맥기형(AVM)을 들 수 있다. 뇌종양은 X-ray CT 나 MRI를 이용한 단층촬영 영상을 이용하여 진단하며 특히 AVM의 경우 뇌혈관촬영술(angiography)를 이용한 투사영상이 추가적으로 사용된다. 병소부위가 그 주위 다른 조직과 밝기(grey level)이 차이가 나는 것을 이용하여 병소부위를 찾게 되는데 구별이 쉽지 않은 경우에는 edge enhancement, grey level histogram equalization 등의 image enhancement 기술이 이용되기도 한다.

뇌정위적 좌표계와 방사선 치료 시스템의 좌표계를 일치시키 위해서는 여러가지 방법이 사용되는데 공통적으로 머리에 기준좌표기구(localizer)를 고정하여 기준점을 정한다. 자동화를 위

해서는 이 보조기구에 의해 나타나는 형상을 자동적으로 찾아낼 수 있어야 한다. 일단 형상이 찾아지면, 기준 좌표에서 어느정도 경사로, 어떤 위치에서 영상이 얻어졌는가를 알게되며 좌표변환을 통해 영상의 모든 화소의 기준 좌표계내에서의 위치를 알 수 있게 된다. 그림 1은 위의 과정을 통하여 얻어진 좌표계를 CT단층 촬영영상에 나타나게 하였다.

또한 방사선량 분포계산시 치료전에 선량 예측을 위하여 병소부위와 중요한 기관을 표시하게 된다. 또한 병소부위의 중심점(isocenter)에서 외곽 contour까지 거리가 계산되어야 한다. 영상 data는 scanner를 이용하여 film를 digitizing하여 얻거나, magnetic tape 또는 online을 통하여 digital data로 입력되며 또한, 사용자가 병소중심부 및 outline, 중요 기관 표시를 영상내에서 함께 그릴 수 있다(그림 1).

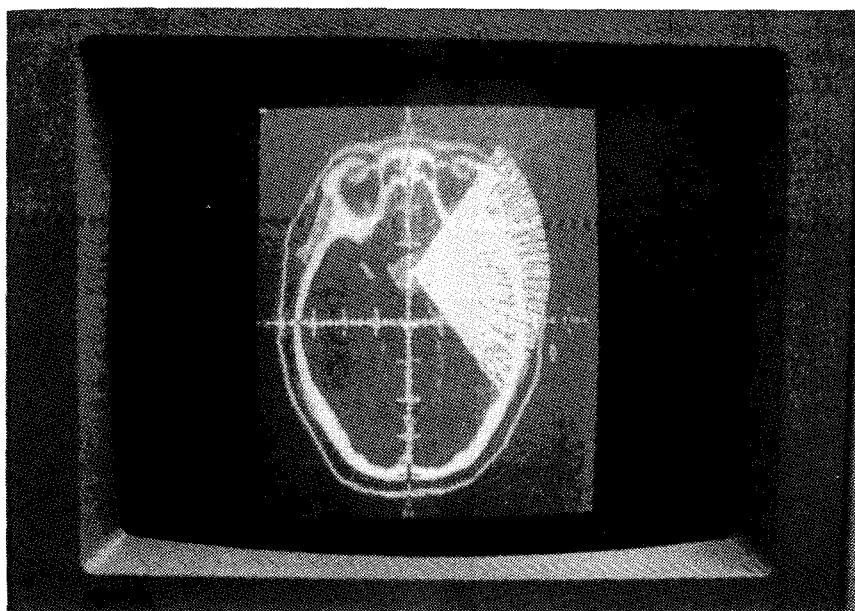


그림 1

기준좌표계, 병소 contour, 머리 contour 및 arc 경로를 보여주는 CT Axial영상. CT Axial 영상에는 밝은 신호로 나타나는 뇌 종양이 보여지고 있으며, 종양 외곽부위가 computer cursor 혹은 mouse에 의하여 쉽게 인지할 수 있도록 그려져 있다. 또한 기준좌표계도 함께 보여지고 있다. arc가 지나가는 임의의 머리 단면상에서 조사한 기준좌표계도 함께 보여지고 있으며, 본 예에서는 axial 단면상에서 30도에서 130도에 해당되는 arc의 경로와 방사선 조사선이 묘출되고 있다. 임의의 병소의 위치에서 정해진 arc의 경로에 따라 조사선의 깊이가 결정되며 조사선의 감쇄값을 결정하는데 이용된다.

2. 2 방사선량 분포 계획과정

이 단계의 주요 과정은 병소 부위와 정상 조직에 가해지는 선량 분포를 계산하는 단계로서 환자의 치료 효과를 만족시키기 위한 최적의 선량 분포를 얻도록 계획이 수행 되어야 한다. 뇌정위적 방사선 치료에서는 3차원적으로 multiple arc를 이용하기 때문에 선량 분포도 3차원적으로 계산이 이루어져야 한다. LINAC를 이용한 치료시 통상 4~9개의 arc가 이용되는데, 한 arc에서는 5° ~ 10° 간격으로 beam들이 배치되어 있는 가정하에서 선량계산이 이루어진다. 한 위치에

서 여러 방사선원으로 부터 받은 조사량은 각 beam에 의한 선량의 합으로써 표시하게 된다. Single beam에 대한 선량분포는 수학적 식이나, 측정 실험을 통하여 선량 계산 모델이 정해지며 실험식과 도표를 이용한 방법이 계산량을 크게 줄일 수 있어 임상적으로 많이 이용되고 있다. 본 연구에서는 원형 field에 대한 isocentric 선량 모델이 이용되고 있다⁹. 선량계산은 뇌의 3차원 공간의 모든 부위에서 계산이 이루어져야 하는데 효과적인 선량계산을 위하여 선량이 집중되는 병소 부위에서는 높은 해상도의 dose grids (eg. 40mmx40mmx40mm, 2mm간격)가 사용되고, 선량이 적은 다른 부위에서는 낮은 해상도의 dose grids(5mm)를 적용한다. 또한 그 사이 값으로 interpolation에 의한 grid generation을 함으로써 계산시간을 줄이고 신속히 선량 분포를 얻을 수 있다.

한 방사선으로 부터 받는 선량은 환자 영상 data 및 조사 변수 등에 의하여 결정되며 환자 data, 조사변수, display plane 등 상호 3차원적인 관계에 의하여 수학적인 3차원적 선량 modeling이 이루어진다. 이와같은 3차원적인 선량 model과 환자 data가 정해지면 최적 선량 분포로 줄 수 있는 방사선조사 변수들을 찾아야하는데 모든 가능한 조사조건에 대하여 일일히 선량을 계산하는 것은 불가능하다. 뇌정위적 방사선치료시 계획자가 변경 시킬 수 있는 방사선 조사 변수로는, 조사 부위(isocenter), 조사 면적(collimator size), 조사 방향(arc position), 조사 세기(arc weighting)등이 있으며 지금까지는 주로 시행착오적 방식에 의하여 조사 변수들을 찾아 내고 있는데 시간 및 정확성 등에 문제가 있으며 computor-aided design optimization technique을 이용한 자동 search방법 등의 활용 방법이 기대되고 있다¹

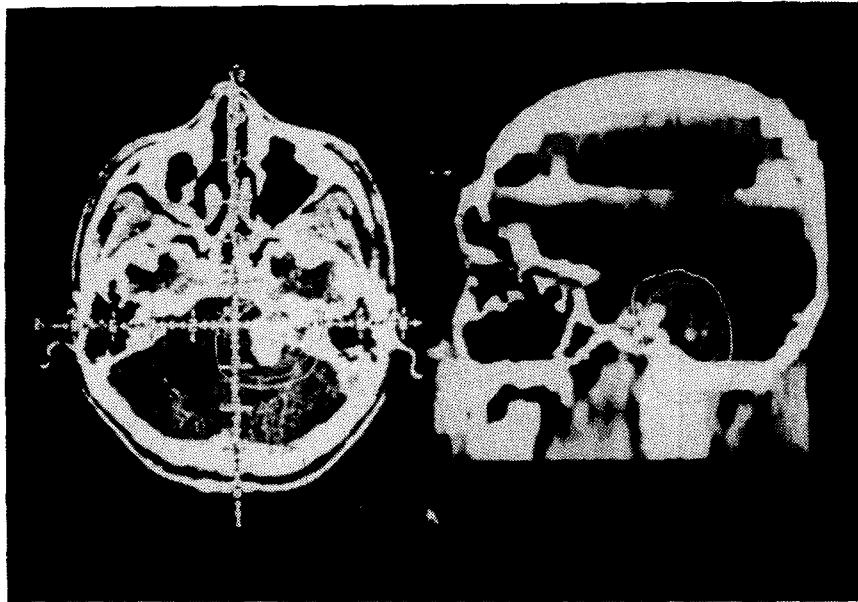


그림 2

Isocenter를 지나는 수직한 2개의 단면 영상위에 함께 묘출되는 선량분포:

Axial (A), Sagittal (B). 선량계산은 2.4km 직경의 조사면을 갖고 있는 등간격 (45deg)의 4개의 arc를 이용하여 구해졌다. 내부로 부터 80, 40, 20, 10%의 isodose curve를 나타내고 있으며, 최적 선량계획에 의하여 방사선 조사변수들이 결정되었다. 종양부위는 2단면상에서 80% isodose curve에 의하여 충분히 조사가 이루어지고 있으며, 눈과 주위 정상조직에는 적은 선량이 가해지고 있다. 빠른 선량계산과 display방법에 의하여 임의의 병소 위치와 크기에 따라 최적선량계산이 쉽게 이루어질 수 있다.

2.3 디스플레이 단계

방사선이 원하는데로 분포되었나를 확인해보는 단계로서 방사선 분포 계산 단계와 함께 반복적으로 시행된다. 이 단계에서는 수직인 3개의 단면영상 (axial, sagittal, coronal) 및 임의의 각도 (oblique angle)에서 단층영상과 방사선량 분포를 한눈에 볼수 있도록 주어진 단층 영상에서 새로운 단층 영상을 합성해 내는 것과 3차원적으로 가시화하는 것이 핵심기술이다. 그림 2와 3은 CT 및 angiography영상 위에 최적화 치료계획에 따른 최종 선량 분포를 함께 보여주고 있다.

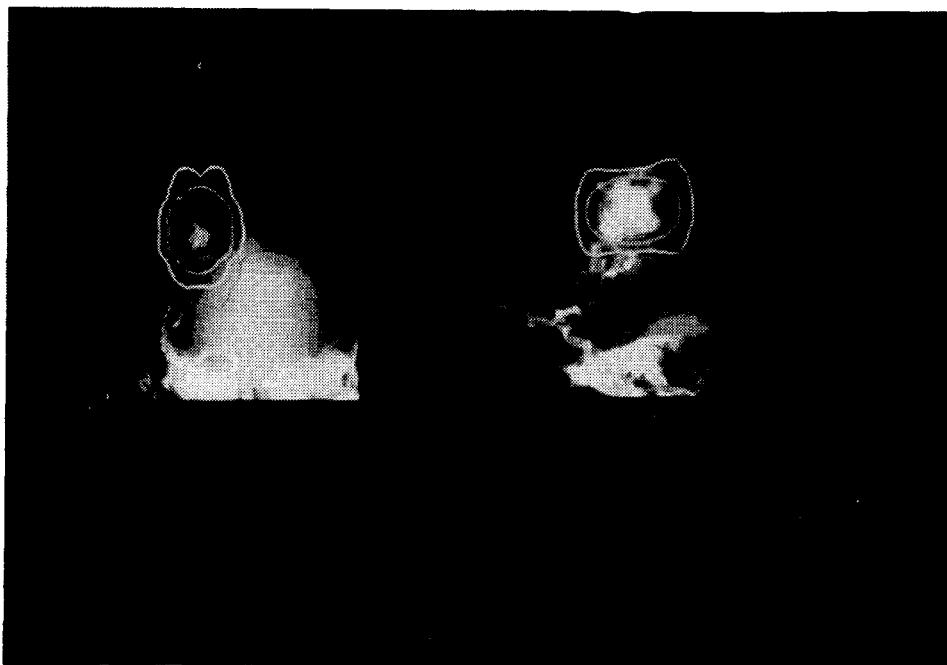


그림 3

수직한 2개의 투시영상위에 함께 묘출되는 선량분포: Anteroposterior(A), Lateral(B). 선량계산은 2. 5cm²직경의 조사면과 등간격의 4개의 arc를 이용하여 구해졌다. 내부로 부터 80, 40, 20, 10% isodose curve를 나타내고 있으며, AVM에는 80% isodose curve가 지나는 반면 정상 혈관근처에는 선량이 극소화 됨을 알 수 있다.

3. 결론 및 제언

뇌정위적 방사선 치료 계획을 위해서는 각종 영상처리 기술의 적용이 필수적이다. 치료계획을 정확하고 신속하게 하기 위해서는 다음 사항이 중요하다. 일차적으로 영상진단장치, 치료계획장치, 치료 기계 장치 간의 원활한 정보 교환 체계를 구축 되어야 한다. 이를 위해서는 이 세가지 장치가 on-line화 되어 있으면 신속성과 정확도를 매우 향상시킬 수 있을 것이다. 그러나 사용하는 영상진단 장치가 다양하고 각 장치마다 영상의 format와 I/O interface 방법이 달라서 어려움이 있다.

둘째로 사용되는 S/W가 효과적이어야 한다. 치료에서는 영상진단의 경우 보다는 비교적 해상도가 떨어져도 좋으며 환자가 영상진단장치에서 치료장치로 이동하는 시간내에 치료계획이 수립되어야 한다. 아직까지 모든 의료기기에 해당되지만, 방사선치료장치의 개발을 위해서는 사용자이며 해부학지식과 임상 경험을 가진 의사들과 긴밀한 협조를 필요로하고 있다. 의사들의 지식을 시스템내에 사전지식으로 장착하여 더욱 수준 높은 자동화를 달성할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과로 방사선치료의 계획방법이 비약적으로 발전함으로써 치료율과 이용율이 크게 증가할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 서태석. 박사 학위 논문, University of Florida, "Optimization of dose distribution for the system of linear accelerator-based stereotactic radiosurgery", 1990.
2. Larsson, B., Liden, K., and Sarby, B., "Irradiation of Small Structures Through Intact Skull," *Acta Radiol.*, 13:512, 1974.
3. Leksell, L., "Occasional Review: Stereotactic radiosurgery." *J. Neurosurg.*, 46: 797, 1983.
4. Lyman, J.T., and Howard, J., "Dosimetry and Instrumentation for Helium and Heavy Ions," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 3:81, 1977.
5. Lyman, J.T., Kansteing, L., Yeater, F., Fabrikant, J.I., and Frankel, K.A., "A Helium Ion Beam for Stereotactic Radiosurgery of Central Nervous System Disorders," *Med. Phys.*, 3:695, 1986.
6. Colombo, F., Beneedetti, A., Pozza, F., Avanzo, R.C., Marchetti, C., Chierego, G., and Zanardo, A., "External Stereotactic Irradiation by Linear Accelerator," *Neurosurgery*, 16:154, 1985.
7. Friedman, W.A., and Bova, F.J., "The University of Florida Radiosurgery System," *Surg. Neurol.*, 32:334, 1989.
8. Siddon, R.L., and Barh, N.H., "Stereotaxic Localization of Intracranial Targets," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 4:431, 1987.
9. Saw, C.B., Ayyangar, K., and Sunthavalingam, N., "Coordinate Transformations and Calculations of the Angular and Depth Parameters for a Stereotactic System," *Med. Phys.*, 14:1042, 1987.
10. T.S. Suh, S.C. Yoon, K.S. Shinn, and Y.W. Bahk, "Computer-Aided Design Optimization for Linear Accelerator Based Stereotactic Radiosurgery (abstract)". *Medical Physics*, Vol.18, p602, 1991.

3-D Radiosurgery Planning Using Personal Computer

Tae-Suk Suk, Ph.D.

Dept. of Radiology, Catholic University Medical College

Doug-Young Suh, Ph.D.

Division of HDTV, KAITECH

Charn Il Park, M.D., Sung Whan Ha, M.D., Wee Saing Kang, Ph.D.

Dept. of Radiation Therapy,

Seoul National University Medical College

Abstract

Recently, stereotactic radiosurgery plan is required with the information of 3-D image and dose distribution. The purpose of this research is to develop 3-D radiosurgery planning system using personal computer.

The procedure of this research is based on three steps. The first step is to input the image information of the patient obtained from CT or MR scan into personal computer through on-line or digitizer. The position and shape of target are also transferred into computer using Angio or CT localization. The second step is to compute dose distribution on image plane, which is transformed into stereotactic frame coordinate, and to optimize dose distribution through the selection of optimal treatment parameters. The third step is to display both isodose distribution and patient image simultaneously using superimpose technique.

This prototype of radiosurgery planning system was applied recently for several clinical cases. It was shown that our planning system is fast, accurate and efficient while making it possible to handle various kinds of image modalities such as angio, CT and MRI. It is also possible to develop 3-D planning system in radiation therapy using beam's eye view or CT simulation in future.