

Photon Knife 시스템에 근거한 뇌정위 방사선수술에서 표적위치 확인

계명대학교 의과대학 의공학교실*, 방사선종양학교실†

최태진* · 김진희† · 김옥배†

선형가속기(Mitsubishi, ML15MDX)를 이용한 방사선수술시스템인 Photon Knife에서 Linac-gram을 통해 선속-표적 위치를 확인하여 신뢰성 있는 기술을 유지하도록 하였다. 선속-레이저광 교정 기구를 제작하여 레이저광의 입사점과 사출점을 조사하여 빔의 위치결정에 이용하였다. 선형가속기에 부착한 보조 콜리메이터의 고정을 확인하기 위해 Isocenter에서 5 cm 떨어진 위치에 팔각형 필름지지체를 두도록 제작하고 확인용 필름(Kodak X-omat V2)을 설치하였다. 필름에 선형가속기의 지지체를 45° 씩 회전조사하여 필름에 나타난 거리로 보조 콜리메이터의 이동을 확인한 결과 실험 오차내에서 이동이 없음을 확인하였다. 임상에 이용한 체위 표시기는 10 mm 쇄구슬 궤도와 납인형을 두어 PKRS 시술시 환부의 체위를 쉽게 확인할 수 있도록 고안제작되었다. 앙와위 및 우측 측와위로 조사한 방사선수술에서 표적 위치에 있는 양측 쇄구슬과 콜리메이터 조사면과의 일치를 LINAC-gram에서 확인한 결과 CT 영상의 표적좌표와 비교해서 평균 0.8 ± 0.26 mm 의 오차범위에서 시술하였음을 보이므로 방사선조사의 정확성을 알 수 있다. 선형가속기의 Couch 에 임의의 힘을 가했을 때 위치변동은 좌우 ± 5 mm, Couch 축방향으로 ± 1 mm, 상하로 ± 2 mm 이동할 수 있음을 확인하였다. 이상의 결과로 Photon knife 방사선 수술 시스템은 방사선수술 전 환부의 표적과 선속의 일치를 LINAC-gram을 통해 확인할 수 있어 기술의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

중심단어 : 포톤 나이프, LINAC-gram, 표적위치기, 위치표시자

서 론

방사선수술은 두개부의 작은 표적 병소에 다량의 방사선을 조사하여 종양의 증식을 억제하거나, 뇌동정맥기형에서 이상 혈관을 폐색시키고 정상 혈류를 유도하는 효과를 얻을 수 있다.^{1,2)} 투과력이 높고 일정 조사면적을 가진 빔으로 병소가 있는 동일 평면상에서 빔을 중복되지 않게 다량의 방사선을 집중조사하는 데는 기하학적인 제한이 있다. 현재 방사선수술에서는 기하학적 제한점을 극복하기 위해서, 투과력이 높은 방사선 빔이 병소를 중심으로 비공면(Non-coplanar plane)을 통과하여 중복되지 않도록 조사하는 입체조사법을 널리 이용하고 있다.³⁻⁵⁾ 입체조사법을 이용한 방사선수술에는 방사성물질을 고정배치하고 헬멧의 콜리메이터를 통해 두개부 내 병소에 집중조사 하는 감마나이프 방식과 종양치료에 사용되는 선형가속기의 지지체와 치료대의 회전을 이용하여 비공면 집중조사하는 법이 통용되고 있으며, 각각의 장단점

이 있어 우열을 주장하기는 쉽지 않다.

선형가속기의 높은 에너지의 광자선은 초점이 작고 반응영이 적어 병소 경계의 정상조직에 도달하는 측방선량이 비교적 적다.

횡다중원호조사를 병용하는 포톤 나이프 방사선수술 시스템 (Photon Knife Radiosurgery System, PKRS)은 치료범위를 종양내 최대 선량의 80%에 둘 때 50% 선량곡선이 3-4 mm 이내로 나타나게 하고 있으며, 치료범위를 최대선량의 50%를 취하는 감마나이프에 비해 표적에 선량을 집중시킬 수 있음을 발표한 바 있다.^{3,6)}

선형가속기에 의한 방사선수술은 선속-표적 중심위치 유지를 위한 Couch 평형, couch 고정성, 콜리메이터 고정, 선속-레이저빔의 위치정확성, 콜리메이터의 크기와 표적위치결정 등 선속-표적위치 결정에 변수가 많고, 선속궤도가 한정된 점이 있다. 선형가속기를 이용한 방사선수술 과정은 먼저, 치료부위를 결정한 후 환부고정장치와 CT 병소위치기를 착용하고 단층영상을 얻는다. 환부의 CT 영상을 선량계획프로그래밍으로 치료범위와 방사선수술선량 및 표적위치를 결정하고, 표적위치기의 좌표를 일치시킨 다음, 선형가속기의 선속중심을 환부의 표적기에 일치시킨다. 방사선수술 직전에 표적기의 위치를 확인하는 LINAC-gram을 환부의 전후방(Anterior-posterior beam) 영상과 측방(right lateral beam)영상으

이 논문은 2003년 5월 19일 접수하여, 2003년 6월 11일 채택됨.

책임저자: 최태진, (700-712) 대구시 중구 동산동 194

계명대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 053)250-7666, Fax: 053)250-7667

E-mail: tjchoi@dsmc.or.kr

최태진 외 2인 : Photon Knife 시스템에 근거한 뇌정위 방사선수술에서 표적위치 확인

로 방사선수술부위의 정확성을 확인한 후 시술한다(Fig. 1).

방사선수술에서 심각한 치명상을 초래할 수 있는 오류로는 표적위치결정, 콜리메이터의 개방면적과 지정 보조 콜리메이터 고정을 들 수 있다. 입체조사를 시행하는 방사선수술에서는 표적위치를 해석기하학적 좌표축(±X, ±Y, ±Z축)으로 표현하고 환자의 치료대와 가속기의 지지체를 각각 별도로 회전시켜 시술하기 때문에 부호 채택의 오류 내지 위험성을 원천적으로 갖고 있음을 알 수 있다. 더욱이, Photon Knife System 은 두부내 치명장기의 손상을 피하기 위해 환자를 우측 측와위로 회전할 수 있기 때문에 치료병소 설정에 대한 확인과 준비과정은 전체 방사선수술의 절반 이상의 시간을 할애하고 있다. 채구성된 표적영상을 통해 병소의 중심위치가 결정되면, 선형가속기의 빔과 병변을 일치시키는 위치기구(Position device)에 빔의 위치를 고정하는 것이 일반적이므로, 방향선정의 오차는 방사선수술에 직접적으로 영향을 끼칠 수 있다.^{4,5)} 방사선수술을 시술하는 과정에 지정된 콜리메이터의 개방면적을 유지하는 것은 사고예방을 위해 중요한 일이다. 왜냐하면, 수천 cGy의 다량의 방사선을 집중 조사하므로, 보조 콜리메이터의 범위를 초과하는 범위의 일차 콜리메이터 개방오류는 심각한 위험을 초래하게 된다. 한편 선형가속기에 의한 수술은 지지체의 회전운동시 보조 콜리메이터의 고정확정도 중요하다. 일차 콜리메이터 개방은 대개 수 mm 내지 수 cm 이하의 직경을 가진 보조 콜리메이터의 차폐체 외곽경계를 초과하지 않게 하며, 확산 선속이

이용선속의 1-2% 이하로 선량을 차폐할 필요가 있다. 일반적으로 방사선치료확인인 조사하고자하는 치료기기의 X선에너지로 조사면의 영상을 얻어 선속의 위치를 확인하게 된다. 그러나 선형가속기에 의한 방사선수술의 치료부위 확인에 대한 연구 발표는 많지 않다. 저자들은 방사선계도를 중복되지 않으면서 배가할 수 있고, 치명장기를 의도적으로 피할 수 있도록 다중원호조사(Multi-arc beam)와 횡다중원호조사(Trans-multi-arc beam)를 시행하는 포톤나이프 시스템을 개발하여 임상에 좋은 결과를 얻고 있으므로,^{7,8)} 본 연구에서는 PKRS를 중심으로 사고 예방을 위하여, 병소에 정확한 선속이 지나감을 확인할 수 있는 선속-광 측정기(Beam-light check device)와 선속표시기를 제작하여 치료부위를 확인할 수 있는 방법과 방사선수술 성능확인을 발표하고자 한다.

대상 및 방법

1. PKRS와 표적위치기(Target Positioner)

선형가속기에 의한 뇌정위수술은 두부고정장치(Base Ring)를 착용하고, BRW CT localizer를 부착하여 컴퓨터단층상에 나타나는 localizer의 단면으로 표적의 위치 연산을 통해 입체적 표적위치가 결정되므로,⁵⁾ 방사선 수술은 표적기의 위치에 선형가속기의 선속을 일치시켜야 한다(Fig. 1).

PKRS는 두개부 고정링에 뇌정위기구와 선속-표적위치기

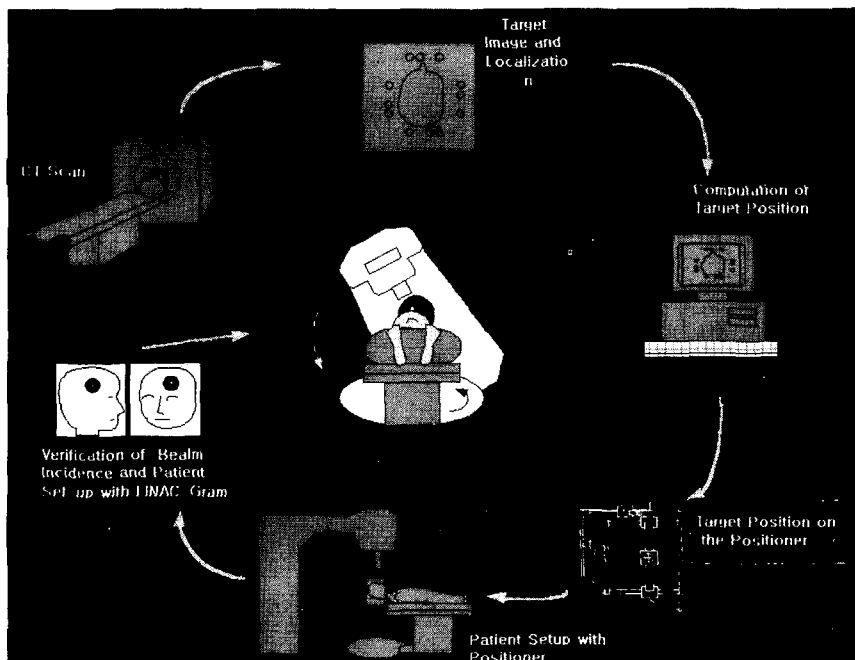


Fig. 1. Schematic diagram shows the procedure of stereotactic radiosurgery in PKRS.

를 부착할 수 있도록 되어 있으며, 표적 중심을 향해 삼차원적으로 일치시킬 수 있도록 되어 있다.

PKRS의 표적 위치기는 1/20 mm 오차를 측정할 수 있는 버니어 캘리퍼의 아들자가 부착되어 있으며, 아들자와 붙어 있는 십자선의 표지가 있는 눈금자에는 직경 10 mm의 쇠구슬이 상하, 좌우로 4개가 부착되어 있어 입체적 빔 위치를 조사할 수 있다. 표적 위치기의 측정범위는 뇌정위 고정링의 중심에서 Y축으로 16-200 mm를 지정할 수 있으며, 좌우로는 ±80 mm를 지정할 수 있다.

선속 확인은 병변의 크기와 모양에 따라 결정된 보조 콜리메이터를 부착 고정한 후 환자에게 수술조사를 시행하기 전에 선속위치 확인을 한다. 표적위치 확인은 환부를 고정한 다음 콜리메이터를 35×35 cm² 조사면으로 개방하여 2 MU를 1회 조사하여 시행하였다. 방사선수술은 선형가속기(Mitsubishi, MI-15MDX, 일본)의 6 MV X선을 이용하였으며, 환부고정기구를 사용하여 표적위치를 결정하는 PKRS를 이용하였다(Fig. 2).⁸⁾

방사선수술 시행에 앞서 선속과 표적위치 확인은 치명적 오류를 사전에 방지할 수 있으므로, 레이저 빔과 방사선 선속의 일치성을 선속-레이저광 기구(Beam-Light Device)를 사용해 확인한다(Fig. 3). 본원에서 제작한 BLD는 크기가 400×400×10 (mm)의 Lucite 판 위에 300×300×120 (mm)의 투명 lucite 육면체에 십자선을 상부와 양측면에 표시하여 좌우 레이저 빔이나 조사면의 십자선(Reticle)의 통과를 양측에서 확인할 수 있게 하였다.

방사선 선속 교정은 조사면의 십자선과 측방 레이저빔의 중심이 일치되도록 수행되어야 한다. 그러나 레이저 빔의 중심이 수평으로 둔 방사선 선속의 중심과 일치하지 않는 경우 레이저 빔의 입사점과 사출점(Exit point)을 알면 isocenter 위치에서 레이저 빔의 위치를 수치적으로 평가할 수 있다(Fig. 3).

방사선수술의 위치 오차를 줄이고 신속한 환부위치를 결정하기 위해서는 레이저 선폭의 중앙선과 선속의 십자선의 오차관계를 알고 있으면 편리하게 된다.

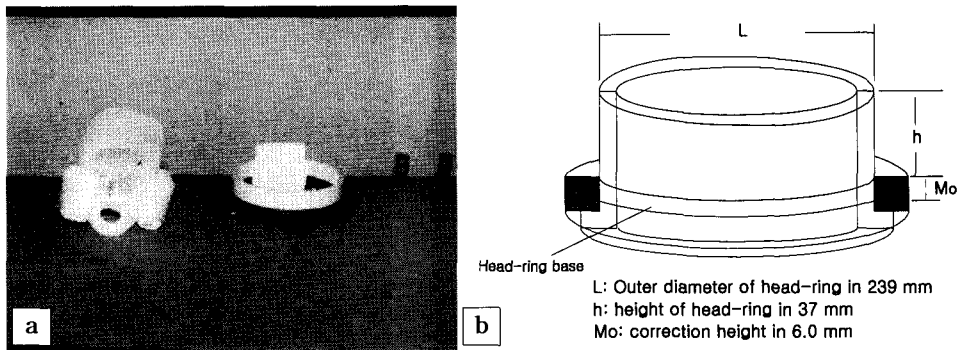


Fig. 2. The head immobilization with thermal plastic mask and head base-ring for the fractionated stereotactic radiosurgery in PKRS (a). The schematic drawing and scales show the head-ring for fixing the head-mask (b).

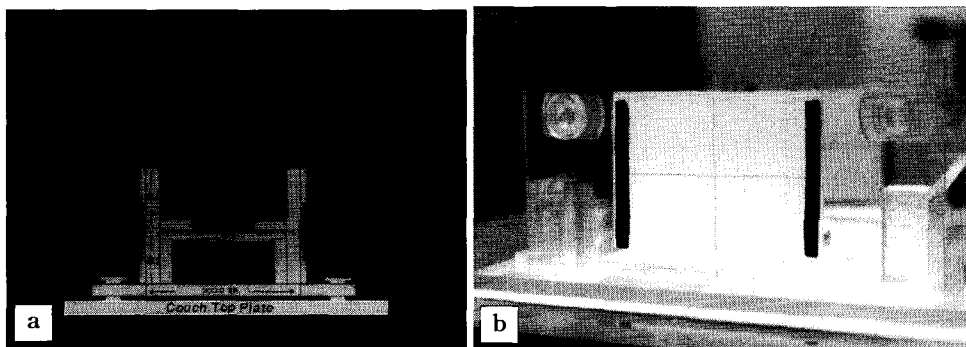


Fig. 3. Schematic drawing of the beam-light device checking the alignment of laser beam (a) and detecting the laser beam on the tracing papers attached to inlet and outlet plate simultaneously (b).

선형가속기의 선속을 환자의 두부에 착용하고 있는 Base Ring의 표적 위치기(Target Positioner)에 고정시키고 X축, Y축과 Z축의 좌표지점에 일치시켰다(Fig. 4).

PKRS에서는 방사선 선속과 표적 위치기의 좌표축에 부착되어 있는 아들자에 표시된 십자선과 측방 레이저 빔을 일치시켜 환부위치를 입체적으로 쉽게 설치할 수 있게 하였으며, 환부에 여러 개의 표적이 있을 때도 Base Ring의 중앙을 원점으로 해서 지정위치 만큼 아들자를 이동해서 동일한 방법

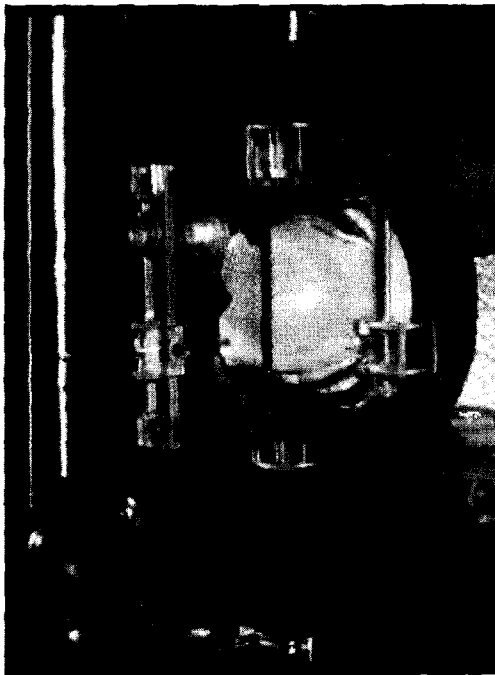


Fig. 4. Source alignment to target-position of PKRS system.

으로 시행한다.

환부를 확인하고 평가하는 방법은 표적을 중심으로 Multi-arc시 지지체의 0도에서 관상면(AP film)의 영상을 얻고, 지지체가 90°에 있을 때 측면(Lateral Film)의 LINAC-gram 영상을 얻게 된다(Fig. 5a). 또한 Trans-multi-arc에서는 지지체의 0°가 환자의 좌측방 투사(left lateral projection)를, 90°일때 관상면(AP film)을 취하게 된다(Fig. 5b). Base Ring은 BRW 시스템과 호환될 수 있게 제작되었으며, Ring의 직경은 239 mm이고, 두개부를 고정하기 위한 링의 보조대 높이는 37 mm이며, Base Ring의 원점보정은 6.0 mm이다. 선원-표적간 거리는 100 cm 이고 표적-필름간 거리는 35 cm 로 각 영상을 얻어 확대율을 적용한다(Fig. 2b).

환부의 표적중심을 치료위치에 결정한 다음 방사선수술이 시행되기 전 반드시 확인 영상을 얻어 계산된 위치와 설정된 치료위치가 일치하는 지를 확인한다(Fig. 6).

본원에서 2002년 5월부터 2003년 4월 30일까지 뇌동정맥 기형 진단을 받고 PKRS로 방사선수술한 5명에 대해 두개부내 표적을 찍은 LINAC-gram의 확인좌표와 컴퓨터영상 해석에 의한 좌표와 비교하였다.

두개골의 투영은 입체가 평면상에 중첩되어 나타나게 되어, 표적영상의 중심에서 정수리(vertex) 까지의 거리는 정확한 위치를 얻기 어려우므로, Base Ring에서 수직 상방 거리로 확인하도록 하였다.

2. 뇌정위결정

선형가속기를 이용한 입체적 방사선수술은 환부에 CT 영상이나, 자기공명영상 또는 뇌혈관조영상을 이용하여 표적중

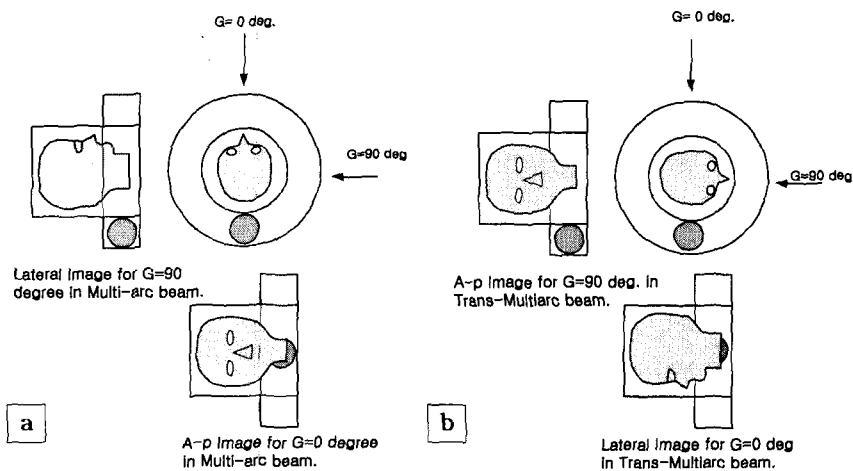


Fig. 5. Ring markers of LINAC-gram to distinguish the multi-arc beam (a) and Trans-multi-arc beam (b). A head imitation with the inner pipe made of lead and 10 mm of steel bead used for gravity effect in an orbit groove.

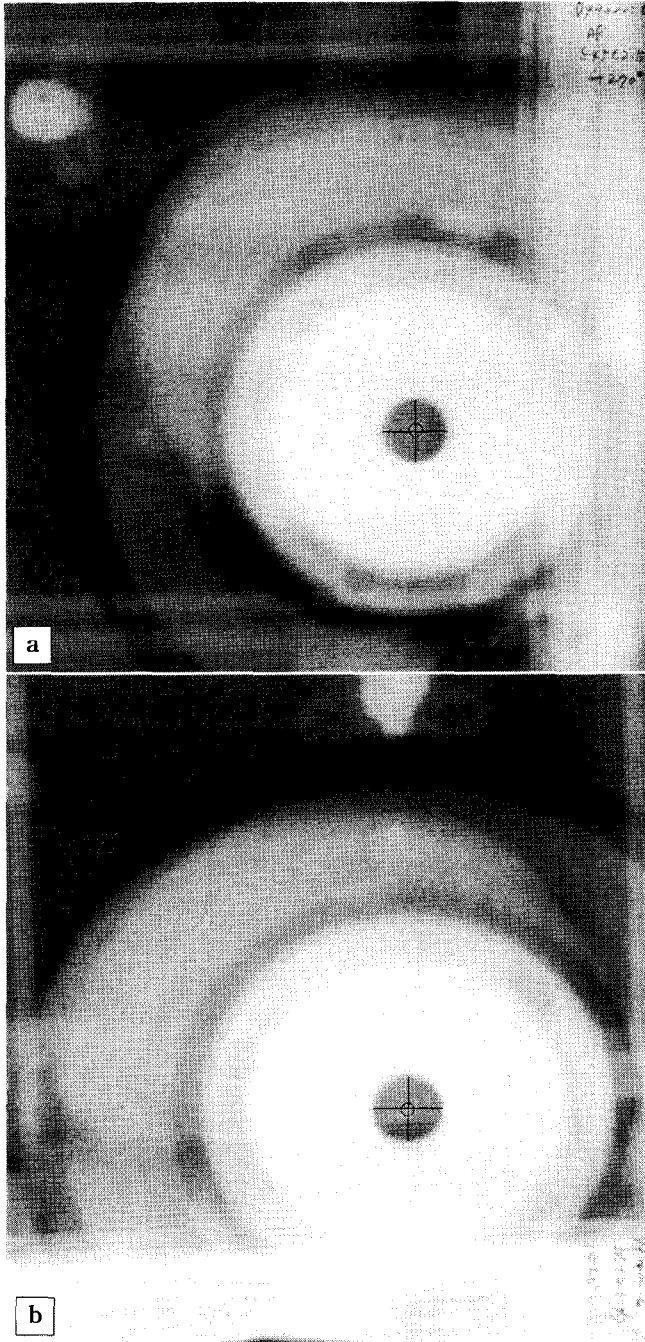


Fig. 6. A position-marker for verification the LINAC-gram of Anterior-Posterior (a) and Left to right projection from right side down position (b). The iron balls (circle in collimator) showed exact location of the center of field in both Anterior-Posterior and lateral projection images.

심 위치를 정하고 치료실에서 결정된 표적위치에 선속을 일치시켜 시행하게 된다. 본원에서 선형가속기를 근거로 개발한 방사선시술은 환부의 표적을 측면, 관상면 및 시상면에 각각 투사하고, 한 측면에서 중심을 잡게 되면, 나머지 다른

측면에서 콜리메이터의 범위가 자동으로 묘사되어 입체적 중심이 결정된다.⁸⁾

PKRS의 Head 고정은 고정대가 별도로 있어 환자의 Head-ring Base를 착용하고 supine에서 Head 고정대에 들어갈 수 있고, 또 우측 모로 누운 상태에서 양와위(supine)와 동일한 표적위치에 머리를 고정할 수 있게 고안 제작되어 지금까지 개발된 방사선수술시스템으로서는 유일하게 방사선을 횡으로 다중 비공면 원호 조사를 결합할 수 있는 특징이 있다.

이러한 PKRS의 좌표계는 환자의 Supine 위치에서 두개부의 표적을 중심으로 좌측 측두엽을 +X, 정수리를 +Y 그리고 안면 측을 +Z로 정해져 있다.

표적위치가 결정되면, 선형가속기의 선속과 레이저 빔이 표적에 일치되도록 유도하는 선속위치 결정을 유도하는 기구를 이용한다(Fig. 4).⁶⁾

3. 선속-레이저광 확인기(Beam-Light Device)

방사선수술의 광자 선원은 환부를 중심으로 100 cm 떨어진 지점에서 환부를 회전중심(Isocenter)으로 하는 운동조사를 통해 비공면 입체조사를 시행함으로써 병소에 방사선이 집적된다. 저자들은 환부결정을 확인하기 위해 선속-레이저광 측정기구를 제작하였다(Fig. 3). 환부 우측에 해당되는 입사점의 투명판은 조사면내 지지체의 회전중심을 중심으로 -150 mm 위치와, 출사점은 환부의 좌측에 150 mm 위치에 각각 수직으로 세워져 있으므로, 지지체 방향을 Y축, 천정을 Z축으로 정하였다. 입사빔과 출사빔의 위치를 투명판에 표시하여 입사점(x1, y1, z1)과 사출점(x2, y2, z2)을 지정함으로써, 선속의 선벡터 해석이 이루어진다.

$$r' = r + r_0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 t는 스칼라양으로 r₀에서 선속의 위치를 결정하는 면까지의 거리 비로 적정 값을 정하였다. 즉, 매개변수 t는

$$t = (r' - r_0) / |r| \dots\dots\dots (2)$$

이다. 입사점과 사출점이 정해지면, 좌표계내 임의의 면에 대한 빔의 위치를 입체적으로 정량화 할 수 있음을 보여 준다.

4. 회전조사와 개방면 감시

보조 콜리메이터는 납차폐물의 직경이 80 mm 이고 높이는 110 mm 로 5mm 두께의 스텐레스-철로 쌓여 있다. 보조 콜리메이터의 면적은 직경 4 mm 에서 40 mm 까지 14 중을 구비하고 있으며, 보조콜리메이터가 부착되는 위치는 선원에서 557 mm 지점에 있으며, 보조 콜리메이터는 빔의

최태진 외 2인 : Photon Knife 시스템에 근거한 뇌정위 방사선수술에서 표적위치 확인

확산방향과 일치되도록 구성되어 있다. 개방조사면적은 빔의 확산이 차폐물의 끝부분의 위치에서도 벗어나지 않는 범위로 열고 입체회전조사를 시행해야 된다. 이에 대한 감시는 회전과 조사면의 개방면적에 초점을 두었다. 방사선수술을 위한 입체회전조사의 출력선량률은 조사면의 크기 5×5 cm²의 고정선량을 사용하고 있고, 조사면의 설정은 수작업에 의하므로 계획된 조사면의 확인은 매우 중요하다. 즉, 조사면의 확인은 출력선량오차를 줄이고, 불의의 치명적 사고를 미연에 방지하게 되는 점을 감안해 반드시 의학물리학과와 중앙전문의의 확인하에 시술되도록 하였다.

결 과

1. 환자두부 고정

PKRS 방사선수술법은 환자를 Supine으로 다중원호조사(Multi-arc)를 시행할 수 있고, 우측 측와위로 누워 횡다중원호(Trans-multi-arc)로 입체조사를 시행할 수 있다. 환부고정은 환자의 체위가 달라지더라도 head-ring base의 중심에서 동일한 위치에 있도록 고안 제작되었다.

환자의 두부 고정은 치아 부목을 물리고 Thermal plastic으로 환자의 얼굴을 감싸는 마스크를 만든다. Head-ring을 씌우고 우레탄폼을 얇은 비닐봉투에 넣어 head-ring 안에서 환부를 고정하게 된다(Fig. 2).

PKRS를 이용하는 방사선수술 환자는 환부의 컴퓨터단층영상을 raw data로 옮겨와 영상재구성과 선량계획을 통해 수술계획이 이루어지며, 방사선 수술직전 설정된 표적을 중심으로 컴퓨터단층영상을 재 스캔하고 수치해석 프로그램을 통해 환부 표적의 위치가 변화 없음을 확인하고 시술함으로써 안정성을 신뢰할 수 있다.⁸⁾

2. 표적 확인 영상

PKRS의 독특한 조사방식에 편리하게 이용할 수 있는 환부 표시자를 제작하였으며, 확인 영상을 얻기 위한 응용을

보여주고 있다(Fig. 5).

체위 표시자는 소형 납 인형 주위에 10 mm 쇠구슬 케도를 만들어 표적위치기에 고정해 두면, 환자의 체위와 동일한 영상을 보이고, 중력장에 의해 구슬 영상이 나타나므로, 구슬의 위치를 보고 환자의 체위를 쉽게 혼돈 없이 파악할 수 있게 고안하였다.

방사선 선속 확인 영상이 전후 또는 좌우 방향에서 조사하더라도 넓은 선속의 빔을 조사하면 환부고정-링의 가장자리는 항상 나타난다. 확인 영상의 고정-링의 가장자리는 변곡점이 생기므로, 양측 변곡점을 연결하여 확대율 MAP, MLAT를 구한다. 전후영상에서 원형필드인 콜리메이터의 중심을 정하고 Head-ring의 가장자리를 연결한 기선에서 수직선 상의 조사면의 중심거리(My)를 측정하여

$$Y = My/M_{AP} + h + M_o \dots\dots\dots (3)$$

와 같이 구한다. 여기서 h는 환부고정틀의 head-ring의 높이로 37 mm 이고, M_o는 Base ring의 원점지점의 보정항으로 값은 6.0 mm 이다.

X축은 관상면에서 MAP를 적용하고, Z축은 측방조사 필름에서 M_{LAT}를 적용한 결과 CT 영상에서 구한 좌표값으로 설정한 표적위치기의 쇠구슬의 중심이 콜리메이터 중심에 잘 일치함을 보였다(Fig. 6).

표적의 입체조사 위치 확인은 선형가속기의 방사선으로 수술하기 전 표적의 위치를 확정하고, 선정된 콜리메이터의 크기를 확인할 수도 있다.

확인 영상을 얻기 전에 선형가속기의 지지체가 정확하게 90도 되는지 수평대를 이용하여 결정한 다음, 콜리메이터의 크기와 중심이 일치하는 지를 살핀 다음 방사선을 조사한다.

전후(AP image) 좌우 확인영상(Lateral image)에서 분석된 내용은 병소를 중심으로 방사선 입사점의 좌우 상하 및 전후의 위치와 방사선집속구경의 크기 및 누출선량 여부를 알 수 있게 하며, 영구 보존이 이루어질 수 있다.

PKRS 표적위치기는 우측 측와위에서 환부 양측에 부착된

Table 1. Comparison of CT coordinates in mm from that of LINAC-gram image. The difference of LINAC-gram showed an average 0.8±0.26 mm discrepancy

N	1		2		3		4		5	
	CT	L-Gram	CT	L-Gram	CT	L-Gram	CT	L-Gram	CT	L-Gram
X	-7.8	-7.9	27.5	27.7	-9.4	-9.4	9.2	8.3	-19.7	-20.9
Y	99.6	98.8	54.3	53.8	76.7	76.5	91.4	91.5	120.8	120.7
Z	29.4	29.1	10.7	11.3	-22.9	-22.6	-16.9	-16.8	8.1	7.8
diff*	0.9		0.8		0.4		0.9		1.2	

*diff = | coordinate of L-Gram - CT coordinate |

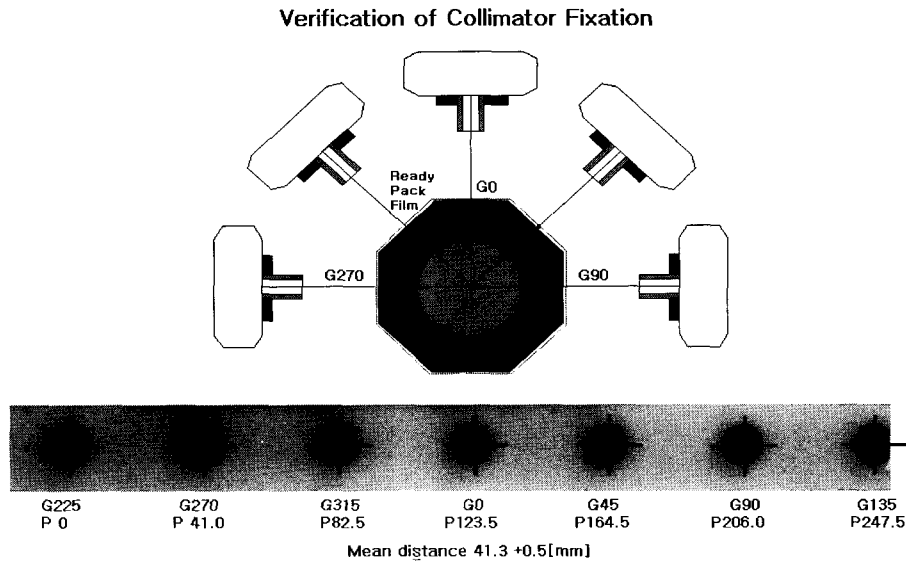


Fig. 7. Verification of beam alignment with fixation of collimator holder. G0 represents 0 degree, G90, and G270 indication of left and right lateral projections of the gantry movement angle. The evaluated point (P) distance in mm was obtained from the exposed film.

쇠구슬과 콜리메이터가 수평을 유지하고 빔의 중앙에 잘 일치하고 있음을 보여준다(Fig. 6).

본원에서 뇌동정맥기형 진단을 받고 PKRS로 방사선수술한 5명에 대해 LINAC-gram에서 나타난 위치와 컴퓨터영상 해석에 의한 좌표를 비교한 결과 상대오차는 0.8 ± 0.26 mm를 나타내었고 최대 1.2 mm 오차를 보였다(Table 1).

3. 보조 콜리메이터 고정 확인

방사선수술의 조사면적은 다엽 콜리메이터와 원형조사면을 이용하는 경우가 있다. 특히 보조 콜리메이터를 사용하는 경우는 대부분 일차 콜리메이터의 조사면이 보조 콜리메이터 차폐면적을 결코 초과해서는 안되며, 운동조사시 보조 콜리메이터의 이동우려가 생기지 않도록 해야 한다. 이를 위해 보조 콜리메이터를 지지대의 일부에 고정할 필요가 있다. 본 시스템에서는 콜리메이터를 설치하는 삽입대를 지지대에 나사로 별도 고정하고, 보조 콜리메이터를 삽입대에 나사로 고정하여 지지대 회전중에 이동이 없도록 하였다. 회전중 이동여부는 8각형의 lucite 속에 직경 60 mm의 납기둥을 넣고, 반대편에서 오는 방사선을 차폐되도록 하였으며, 이 콜리메이터 영상확인 기구를 Isocenter 에 설치하여 지지체의 이동에 따라 콜리메이터의 이동 변화가 있는 지 확인하였다. 선원-필름간 거리(Source-Film Distance, SFD)는 95 cm 에 두고, 지지대를 0°, 45°, 90°, 135° 와 225°, 270°, 315° 에 각각 고정시켜 조사하는 경우 콜리메이터 영상의 중심이

41.4 mm 씩 이동하게 된다. 필름에 조사한 결과 콜리메이터 영상의 거리는 평균 41.3 ± 0.5 mm를 보여 안정된 고정을 확인할 수 있다(Fig. 7).

4. Couch 고정확인

선형가속기의 환자대 Couch는 상하, 전후 및 좌우로 일정한 범위에서 이동할 수 있도록 제작되어 있고, 이동체는 절대적 고정이 어렵다고 본다. 특히 방사선수술 중에 환자가 발작하는 경우, 치료대 전체의 흔들림은 개별사항의 오차검사한계를 훨씬 초과할 수 있다.

치료대의 요동은 방안에 십자선을 표시한후 Isocenter Finder의 축 하단에 펜을 고정하고 전후, 좌우로 힘을 가했을 때 최대 이동위치에서 표시한 결과 x축으로 ± 5 mm, y축으로 ± 1 mm 가 측정 평가되었다. 또한 Z축 요동은 지지체를 90도로 두고 Couch 위 직육면체에 방안지를 붙여 상하로 힘을 준 결과 ± 2 mm 사이에서 요동하였으나 힘을 가하지 않은 경우 이내 고정위치로 환원되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8). 따라서 별도의 고정장치를 쓰지 않는 경우 환자가 심하게 요동을 일으키지 않는 경우 처음 설정치에 변화가 나타나지 않아 환자의 협조가 오차유발을 감소하는 데 큰 도움이 되는 것을 알 수 있었다.

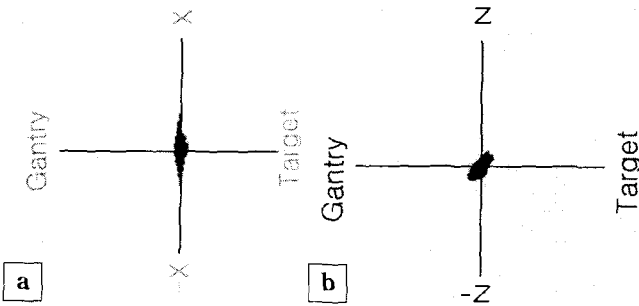


Fig. 8. The marks (black) show the region of couch movement by shaking couch and left-right (a), for up-down (b).

고찰

최근 방사선 수술은 분할조사를 통한 기술 경향이 높고, 컴퓨터과학의 발달로 방사선수술 계획의 시뮬레이션을 통해 부작용과 정상장기의 손상을 줄이려는 시도가 활발하다. 방사선수술은 1회에 다량의 선량을 조사하거나 다량의 선량을 분할조사해 수술효과를 얻는다.

분할조사나 1회 조사에 의한 기술전 방사선 선속과 선량 계획에서 나타난 표적 중심은 일치해야 수술효과를 높일 수 있다.

감마나이프와는 달리 선형가속기를 사용한 방사선수술에서는 선속-표적일치 확인영상을 얻기 쉬운 점이 있는 반면에 선형가속기와 콜리메이터, 치료대, 환자고정대의 회전성은 안정성과 고정성을 저하시킬 우려 사항을 내재하고 있다.

따라서 방사선수술 시행 직전에 환부의 조사위치를 확인하는 것은 매우 중요하고, 선속-표적위치를 사용해서 위치 확인 영상을 마련할 필요가 있다.

특히 선속과 환부를 일치시키는 데는 좌우 측방의 위치를 평행하게 유지할 필요가 있으며, 선형가속기의 각도표시를 보완하기 위해 수평대의 사용이 도움이 되나, 표적중심을 정확하게 결정하는 일에 소요시간을 많이 갖게 된다.

본 연구에서는 표적 십자선 위에 선속 축으로 5 cm 되는 위치에 있는 투명 Lucite에 십자선을 두고 빔의 십자선과 일치시키면 쉽게 측방 수평범을 유지할 수 있게 하였다.

최 등⁹⁾의 연구에 따르면 CT 영상을 이용한 정위적 종양 위치결정의 정확도가 $1.2 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ 됨을 보고한 바 있고, 저자들이 발표한 BRW 뇌정위결정 결과와 유사한 값으로 평가된다. 그러나 CT 또는 혈관영상을 통한 표적 위치결정 못지 않게 선형가속기의 선속일치가 중요함에 관심을 둘 필요가 있다.

또한 외국에서 개발한 방사선수술 시스템의 도입에 의한

기술은 많이 발표되고 있으나, 국내에서 개발된 방사선수술 시스템과 대등소이하게 QA에 대한 발표가 많지 않으며, 양와위 또는 우측 측와위 체위에서 방사선수술이 이루어지는 PKRS에서 LINAC-gram 영상의 체위를 쉽게 파악할 수 있는 표지자 사용은 처음 있는 일이다. PKRS에서 임상 CT좌표와 LINAC-gram의 좌표가 $0.8 \pm 0.26 \text{ mm}$ 를 보이므로 기술의 신뢰도가 높다고 생각한다.

LINAC-gram에 의한 표적 위치 확인은 방사선수술 직전의 최종적인 확인절차로써 뇌정위기구에 의한 표적과 집속된 방사선 빔의 일치여부를 확인할 수 있어 강조된다.

또한 본 연구 결과에서 환부고정에서 Couch의 이동은 별도의 부목 시설이 필요함을 보였고, Couch의 요동에 힘을 가하지 않는 즉시 복원되는 것을 보아서 부목시설이 없는 경우 환자에 대한 감시가 중요함을 알 수 있으며, 환부고정을 위한 환자의 협조가 매우 중요함을 보여 준다. 본 연구결과 Couch 고정을 위한 별도의 기구제작의 필요성을 알게 되었고 안전을 위해 향후 개발할 필요가 있다고 생각한다.

또한 선형가속기의 지지체가 회전운동을 함으로 임의의 회전각에서 콜리메이터의 안정성을 파악한 결과 이동변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 방사선수술의 경우 콜리메이터의 이중 잠금장치가 안전성을 확보하는데 필요하리라 사료된다.

더 나아가 본 연구에서 사용한 영상확인 기구를 Isocenter에 설치하여 지지체의 이동 중에 콜리메이터의 이동 변화를 확인할 수 있어 지지체나 보조 콜리메이터의 성능을 확인하는데도 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 더불어 선형가속기의 광자선을 이용한 방사선수술에서 표적위치기의 수평에 평행하게 선속을 좌우 양측에 일치시키는 작업을 쉽게 하기 위해 선속-레이저 광 측정기구를 고안하여 레이저 광의 교정을 얻어 정확한 위치 선정과 기술준비시간을 단축할 수 있게 되었다.

선형가속기를 이용한 방사선수술에서는 회전좌표를 많이 적용하게 되므로, 기술부위에 대한 LINAC-gram 영상은 컴퓨터영상의 표적위치와 기술위치의 비교평가로 정확성을 알 수 있고 기술안정성을 확인할 수 있으므로 높은 치유율을 기대할 수 있고, 예상 못한 사고를 사전에 예방할 수 있어 확인작업은 필수적인 절차로 생각한다.

결론

저자들이 개발한 선형가속기의 광자선을 이용한 입체적 조사를 통한 방사선수술시스템인 PKRS를 중심으로 환부 표적과 콜리메이터의 조사면과의 일치하는 지 확인하였다.

PKRS는 치명장기를 피해 Multi-arc 또는 Trans-Multi-arc 조사를 시행하므로, 선속-표적 확인이 중요한데 LINAC-gram은 Multi-arc시 환자의 양와위에서 전후방(AP), 측방(LAT)영상을 취하고, Trans-Multi-arc 조사시 우측 측와위 상태에서 AP, LAT영상을 취해 컴퓨터영상을 이용한 표적의 수치 해석에 의해 설정된 표적위치와 0.8 ± 0.26 mm 의 오차로 비교적 정확하게 일치하는 선속을 확인할 수 있었다.

또한 지지체의 회전운동 중의 콜리메이터의 고정성을 확인한 결과 ± 0.5 mm 이내의 실험오차를 보여 안정성이 있음을 알 수 있었고 Couch의 고정은 별도의 부목시설이 없는 경우 환자의 협조와 감시가 매우 중요함을 알 수 있었다. 저자들은 방사선수술 시스템을 개발 또는 시술함에 있어서 LINAC-gram에 의한 확인 영상과 표적위치기와 확인은 매우 중요하고도 필수적인 절차라고 생각한다.

참 고 문 헌

1. W Lutz, KR Winston, PV Maleki: A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. Int J Radiat Oncol Biol Phys 14:373-381 (1988)
2. EB Podgorsak: Dynamic stereotactic radiosurgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys 14:1115-1126 (1988)
3. TJ Choi, OB Kim: Dose Characteristics of Stereotactic Radiosurgery in High Energy Linear Accelerator Photon Beam. J Korean Soc Ther 2:137-145 (1992)
4. CB Saw, K Ayyangar, Suntharalingnam N: Coordinate transformations and calculation of the angular and depth parameters for stereotactic system. Med Phys 14(6):1042-1044 (1987)
5. TJ Choi, OB Kim, et al.: Determination of target position with BRW stereotactic frame in non-orthogonal CT scans. J KAPM 3(1):53-61 (1992)
6. 최태진, 김진희, 김옥배: 입체적 횡다중회전조사를 병합한 방사선수술의 새로운 접근: 포톤 나이프. 대한치료방사선과학회 14(2):149-158 (1996)
7. 이성열, 손은익 외: 선형가속기 방사선 수술을 이용한 뇌동정맥기형의 치료. 대한신경외과학회지 29(8):1030-1035 (2000)
8. 김진희, 최태진: 선형가속기를 이용한 Photon Knife 방사선수술에 의한 뇌동정맥기형의 치료. 대한방사선종양학회지 21(1):1-9 (2003)
9. 최동락: 경위적 방사선수술시 진단장비를 이용한 종양 위치결정의 정확도 평가. 의학물리 7(1):3-7 (1996)

Verification of Target Position in Stereotactic Radiosurgery Based on Photon Knife System

Tae-Jin Choi, Ph.D.*, Jin-Hee Kim, M.D.[†] and Ok Bae Kim, M.D.[†]

**Department of Medical Physics and Engineering, [†]Radiation Oncology School of Medicine, Keimyung University, Daegu, Korea*

This study was performed to prepare the verification film for localizing beam-target position with the Photon Knife radiosurgery system (PKRS) using linear accelerator(Mitsubishi, Model ML-15MDX). We developed a laser calibration system using a reticle of transparent lucite to detect inlet and outlet beams. We verified fixation of the second collimator with film mounted on a holder in the shape of an octagon block 5cm apart from the isocenter. The film was exposed to photon beams of linear accelerator at an interval of 45 degrees during the gantry movement. There were no shifts in the beam of the second collimator during gantry movement. We used a position marker which is designed a head-shaped small lead block and a 10 mm in diameter of steel bead in the plastic tube. The position marker helped to verify the beam directions with patient position in multi-arc and trans-multi-arc of PKRS. The verification of beam alignments showed an average 0.8 ± 0.26 mm discrepancy in LINAC-gram images of PKRS. In our study, the couch movement was ± 5 mm laterally, while it shook ± 2 mm toward the couch axis. The couch, however, was immediately returned to the initial site after shaking. Thus, we postulate that the beam-target position(s) should be verified with LINAC-gram in a stereotactic radiosurgery system to achieve the accuracy of beam-target alignment.

Key Words : Photon Knife, LINAC-gram, Target localizer, Position Marker