

Helical CT 시스템에 있어 Slice Sensitivity Profile과 Reconstruction Resolution에 관한 연구

원광보건전문대학 방사선과

윤 한 식

- Abstract -

Study on Slice Sensitivity Profile and Reconstruction Resolution on Helical CT System

Han Sik Yoon

Dept. of Radiotechnology, Wonkwang Public Health College

Unlike conventional CT scan, the helical CT scan uses continuous rotating CT equipment with a slip ring to move the patient's couch at a constant speed while continuously scanning. Slice sensitivity profiles in the Z-position(SSPz) using the conventional X-ray CT have a shape similar to a rectangular wave, which slightly spreads out into plains below the mountain. However, in the helical CT, with an expansion of the base, the rectangular shape collapses and a mountain-like shape can be seen.

We need to investigate the following factors in helical CT scanning; the ability to scan along the axis of the body, effective slice width, slice shape and the precision of couch velocity, Helical scanning with spiral X-ray track is different from the conventional scanning in terms of the principle of image reconstruction performed. We believe that the problems in helical scanning can be solved by understanding new the special parameters such as the bed moving speed and the interval of image reconstruction.

I. 서 론

Conventional CT 장치와는 달리 helical CT system에서는 slip ring을 이용한 X선관의 연속회전과 일정한 속도의 환자 table의 동작으로 나선형 raw data를 얻고 interpolation연산법을 사용하여 axial plane의 영상을 만든다. 환자가 정지된 상태에서 360° 투영 data를 얻는 기존의 CT scan으로 helical raw data를 재구성하면 motion artifact가 발생하게 된다. 이 artifact를 해결하기 위해 helical CT에서는 raw data로부터 수학적 연산을 하여 재구성 지점에서의 가상적 투영 data를 합성하는 interpolation과정을 거치게 되는데 이 raw data는 임의의 방향에서 임의의 간격으로 연산이 가능하다. Interpolation법은 axial plane에서 공간분해능과 관련된 SSP(slice

sensitivity profile, 이하 SSP)를 변화시킨다. 공간분해능의 감소정도는 helical scan에서 새로운 매개변수로서의 table의 동작 속도와 특정 slice두께 및 영상 재구성 interval에 의해서도 영향을 받는다. 1982년에 X선 CT장치의 평가기준인 "Standard on the Performance Evaluation of X-ray Computer Tomography"가, 1991년에는 "Standard on the Performance of X-ray CT Equipment"가 제정되었으나^{1~4)} helical CT의 물리적 특성을 평가하는 기준은 아직 없으며 여러 기준이 현재 마련 중에 있다.

이런 관점에서 저자는 SSP의 특성과 공간분해능 요소를 검토하여 분석하고자 한다.

II. SSP가 contrast resolution에 미치는 관계

Helical raw data는 conventional CT와 다르며 임의의 지점에서 360° 이상의 연속적인 data를 획득하여 재구

*이 논문은 1996년도 원광보건전문대학 교내 연구비 지원에 의해 연구되었음.

성 상을 만든다. Table 동작속도에 따라 raw data는 정보량이 달라지며(Table 1) 이를 3차원 상으로 재구성시 table 동작속도가 증가할수록 모양의 왜곡은 크다. 영상 재구성시 360° 이상의 angle information 없이는 정확한 모양을 만들 수 없다(Fig. 1).

Table 1. Raw data of information quantity according to bed movement speeds

movement speed(mm/sec)	information quantity(angle)
3	718
4.5	516
6	256

Fig. 2는 SSP의 분포를 나타내며 이는 CT장치의 axial plane(X-Y축)에 대한 공간분해능을 의미한다. Z축 분해능이 SSPz이며 axial plane에서 각 점의 detector 감도를 표시한다. Fig. 3은 투영 data로부터 SSPz를 computer simulation으로 합성한 결과를 보여주는 그림이다. Slice의 어떤 위치에서 투영 data 내에 포함된 1개의 신호강도는 근사적으로 장방형이 되며 interpolation 가중치를 각 투영 data에 부여하고 B(z)와 w(z)를 비례적 convolutional integration하면 SSPz의 형태가 이루어진다.^{2,3)} 이 SSPz는 특정 단층면에서 slice point(X-Y축)의 중심축(Z-Z' 축)에서 발생되며 형태는 Gaussian 분포와 같은 모양을 갖는다. SSPz의 시작과 끝을 연결하면 base가 되며 이것이 data수집의 장이 된다. SSP의 모양의 확산은 interpolation 방법, table 전송속도, beam

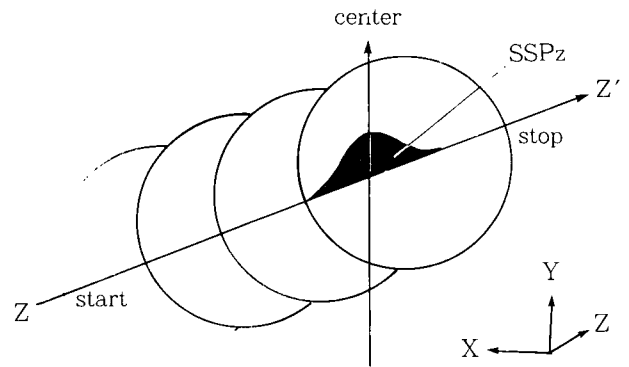
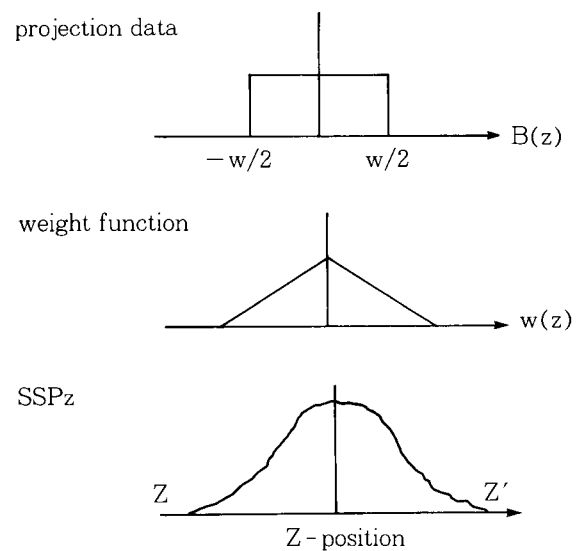


Fig. 2. Relation of the coordinates for SSPz in helical CT



B(z) ; projection data w ; slice width w(z) ; weight function
Fig. 3. Idea of SSPz(slice sensitivity profile) in helical CT

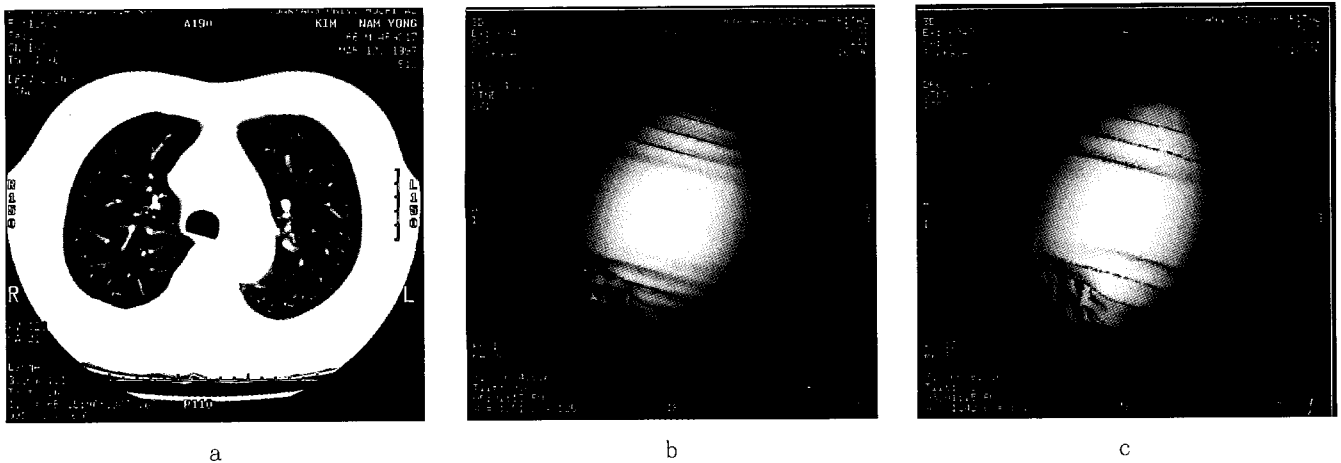


Fig. 1. Change of 3D images to bed movement speed(slice thickness ; 3 mm)

- a ; table movement = 3 mm/rot.
- b ; table movement = 4.5 mm/rot.
- c ; table movement = 6 mm/rot.

width에 좌우되며 peak의 높이는 interpolation의 가중치와 table 전송속도에 의존한다.

SSP의 Z축 분해능저하의 원인은 detector sampling의 수에 좌우되며 360° interpolation을 하거나 pitch(table 전송속도/X선속 넓이)가 1 이상인 경우 그 저하의 정도가 더욱 크다. Pitch의 증가와 interpolation 각도의 증가 시 slice 중심점에서 SSP의 peak가 감소되어 상대적 CT치의 감약을 가져오며 이에 따라 contrast resolution이 저하된다. 산 모양의 SSP의 slice point의 center나 mountain top에 위치한 목적물은 sharp한 contrast를 형성하나, 반대로 base나 caudal 또는 cephalic 방향처럼 중심점으로부터 먼 위치는 contrast가 약해진다. SSP의 parameter로 많이 사용하는 것이 FWHM(full width half maximum, 이하 FWHM)이며 pitch가 1일 때 FWHM치는 180° interpolation의 경우, 기존의 CT와 거의 변화가 없으나 360° interpolation을 하면 약 30% 정도 증가하

여 contrast resolution이 저하된다.^{4,5)}

또한 pitch가 2일 때 180° interpolation의 경우 약 30% 정도 증가하나 360° interpolation의 경우에는 2배 이상 증가되어 Z축 분해능이 저하된다(Fig. 4~5).

III. Artifacts, SSP, 실효 slice두께

X선관이 1회전 하는 동안 360° 방향에서의 투영 data로부터 영상을 재구성하는 종래의 scan과는 달리 spiral track에 의한 helical scan에서는 axial plane에서의 목적물의 위치가 그 시작과 끝에서 변화될 수 있으며, 이것은 section profile의 변화에 기인하여 artifact가 발생됨을 의미한다. 이것이 축방향에서의 motion artifact라 생각되며 주로 skull base와 head의 top, diaphragm 등에서 관찰된다. Helical scan에 있어 X선관의 spiral track으로부터의 X-선속이 목적 slice와 일치하는 순간에서만 투영 image가 만들어진다. 그러므로 interpolation calculation은 axial 방향에서의 목적slice에 걸쳐진 2개의 투영 data로부터 수행된다.⁶⁾

현재 helical scan에서 artifact의 특별한 평가법은 아직 없으며 단층면을 변화시키는 목적물을 scan함으로써 육안적으로 시행되고 있다. Interpolation연산법은 helical scan에서는 artifact를 적절히 없애기 위한 필수적 기법이나 이와같은 calculation은 특정 slice에 대해 image 상의 slice두께의 증가를 야기시킨다. Bed의 동작속도가 증가될수록 slice두께는 커져 실효 slice두께가 증가된다. 실효 slice두께를 측정하기 위해서는 목적물의 경사도를 적용하는 방법 때문에 정확한 측정은 기대하기 어렵다. 현재 coin method가 사용되고 있는데, 이것은 얇은 coin 상의 알루미늄 관을 agar 사이에 중복시켜 slice표면에

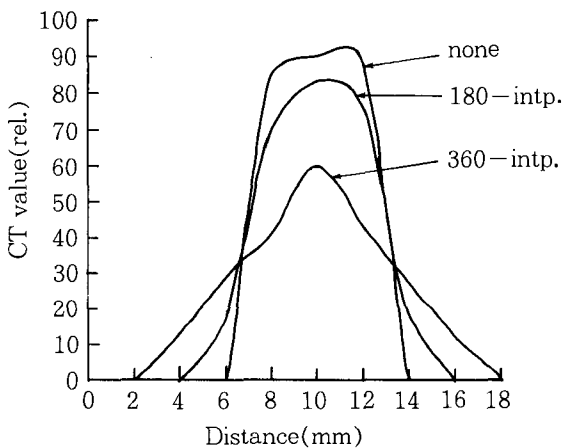


Fig. 4. Comparison of the SSPz shape according to the interpolation (pitch = 1)

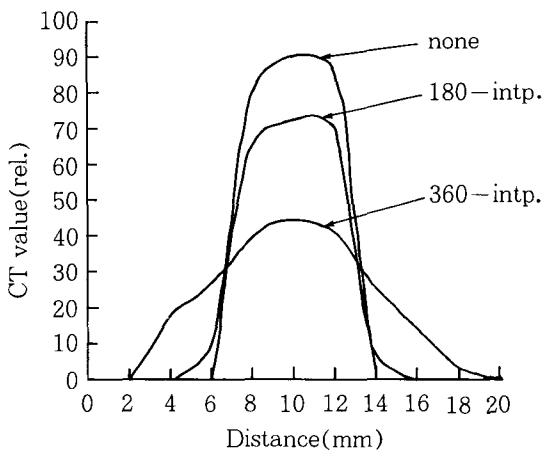


Fig. 5. Comparison of the SSPz shape according to the interpolation (pitch = 2)

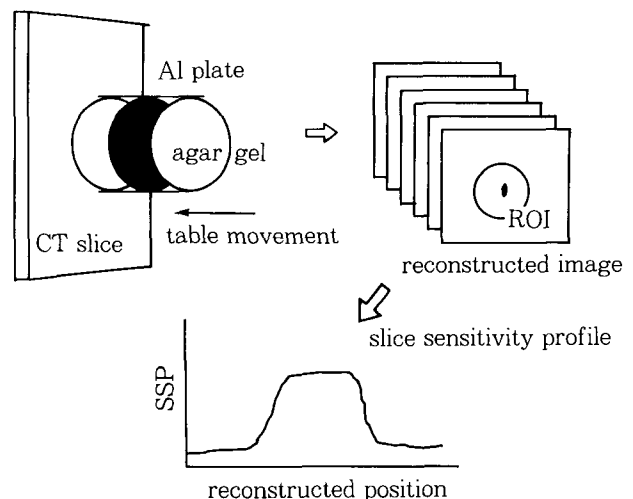


Fig. 6. Coin method measurement of slice sensitivity profile

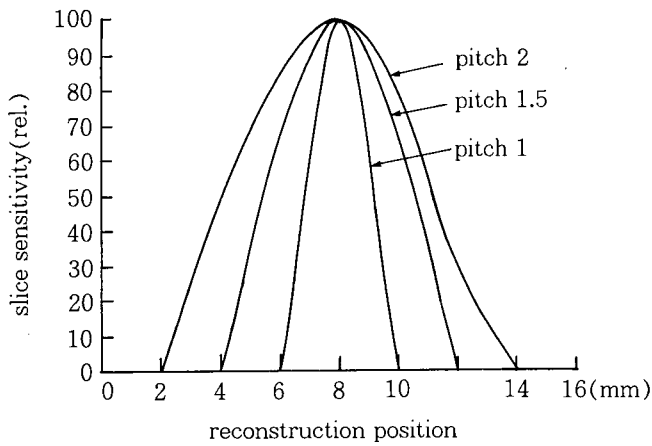


Fig. 7. Results of coin method measurements of effective slice thickness

평행하게 놓고 판의 중심에서 ROI의 CT치를 측정하는 것이다.^{7,8)} 이렇게 함으로써 SSP로부터 실효 Slice두께를 결정할 수 있다(Fig. 6~7).

SSP측정에 있어서 coin method를 사용하면 coin의 위치가 측정치에 영향을 줄 수 있다. Slice표면이 변화되지 않도록 coin면을 8°까지 경사지게 SSP를 측정한다(Fig. 8). 측정결과는 SSP에 큰 영향을 주지 않으며 이때 유효 slice 두께와 일치시키기 위해 coin의 두께는 5 mm 또는 그 미만을 사용한다. Bed의 동작속도 증가는 scan area가 넓어져 continuity는 우수하나 실효 slice두께의 증가로 공간분해능이 저하된다.

Helical scan에서는 spiral X-ray track을 사용한 slice 모양을 평가할 수 있는데 특히 bed의 동작속도가 유효 slice 두께와 비교하여 너무 빠를 때 slice모양은 완전한 판이 되지 않고 실 모양으로 왜곡될 수 있다. 이를 평가하기 위해 여러장의 stainless 판을 서로 평행하게 위치시켜 판의 간격보다 bed의 동작속도를 증가시켜 재구성

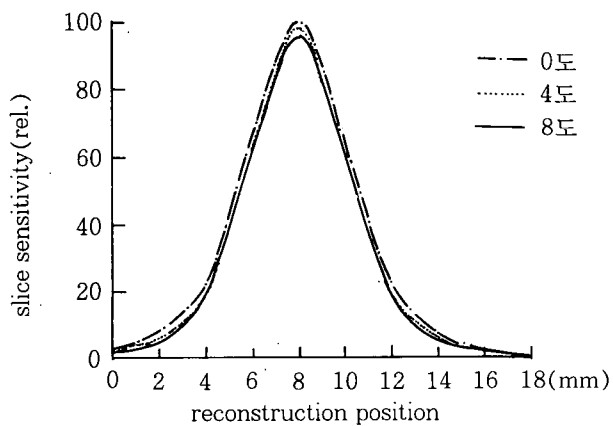


Fig. 8. Relationship between the angle of coin setting and slice sensitivity profile measurements

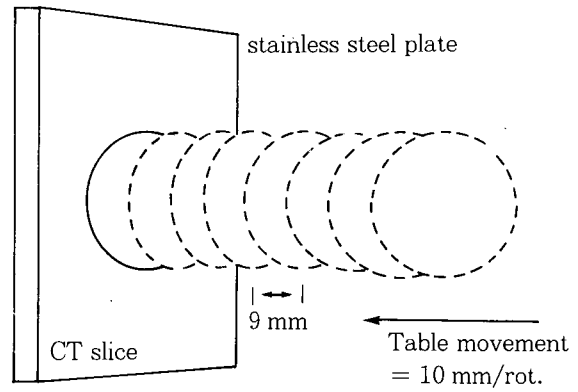


Fig. 9. Phantom used in slice shape measurement

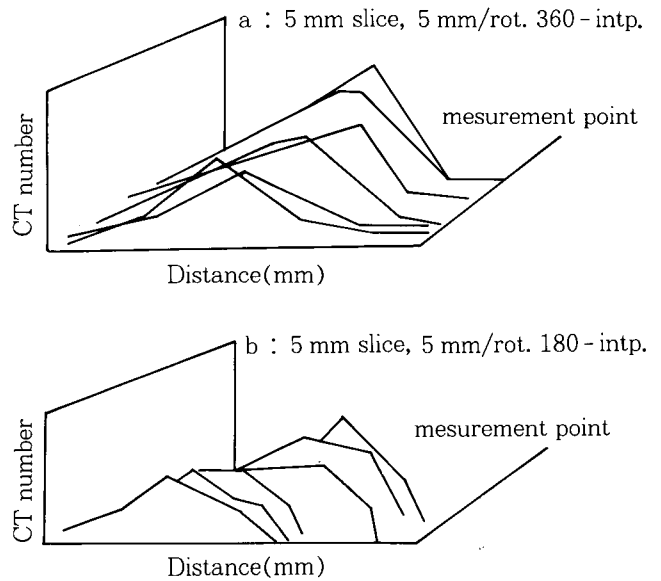


Fig. 10. Results of slice shape measurement

후의 slice모양을 측정하였으며 그 결과 SSP의 왜곡이 나타났다(Fig. 9~10).

IV. axial 방향에서의 resolution 측정

Helical scan에서 재구성상 간의 interval은 임의로 변화될 수 있으며 공간분해능과 함께 continuity를 평가할 수 있는 ladder phantom을 사용하여 coin사용법처럼 평가한다. 일반적으로 실효 slice두께는 table의 동작속도의 증가에 따라 커지며 상이 진정한 형태로 재구성 될 수 있도록 interval을 좁게 설정함으로써 continuity가 향상된다. 목적물의 공간 주파수에 2회 또는 그 이상의 공간 주파수를 재생하도록 하는 것이 바람직하다(Fig. 11~12).

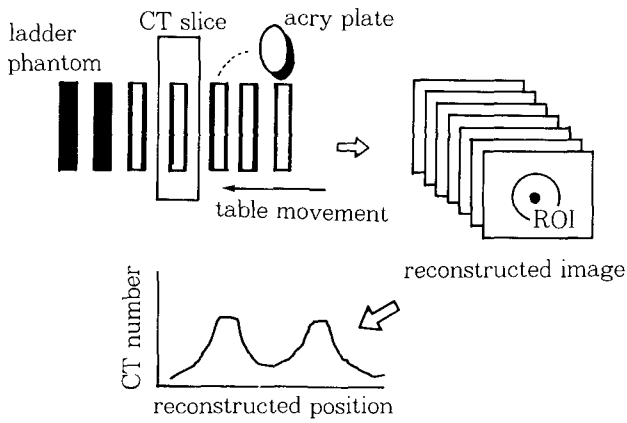


Fig. 11. Ladder phantom measurement of spatial resolution of axial direction

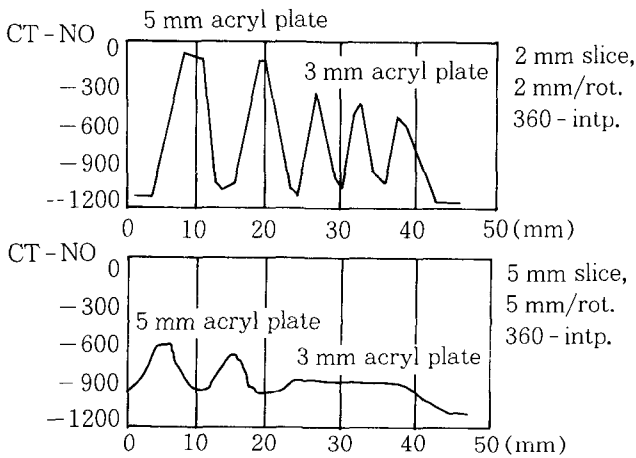


Fig. 12. Results of ladder phantom measurement of spatial resolution of axial direction

V. axial 방향에서 재구성상의 위치 정확도 측정

X-선관이 연속적으로 회전하는 동안 일정한 속도로 table이 움직이는 helical scan에서는 X선관의 회전속도와 함께 table의 동작속도도 평가되어야 한다.⁹⁾ 이를 평가하기 위해 polystyrene phantom을 사용하는데 phantom속에 aluminum wire를 내장시켜 각 wire에서의 속도의 균등성을 측정한다. 이것은 axial plane에서의 목적물의 위치가 정확한 위치에서 재구성되는지의 정보를 제공한다(Fig. 13).

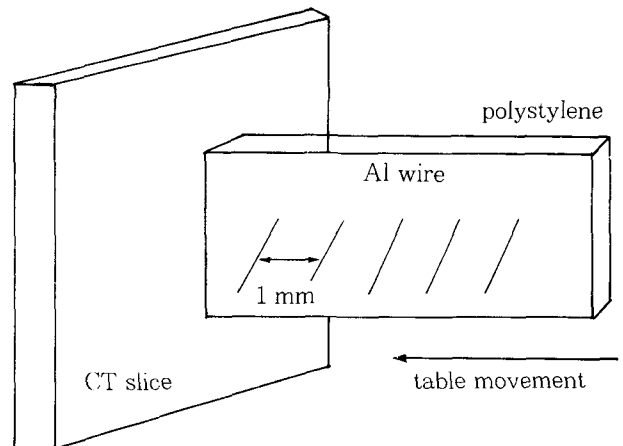


Fig. 13. Phantom for measuring accuracy of reconstruction of images of axial direction

Chest cavity의 경우 보통 10 mm slice, 15 mm/rotation으로 설정하면 slice두께의 증가와 table 동작속도의 증

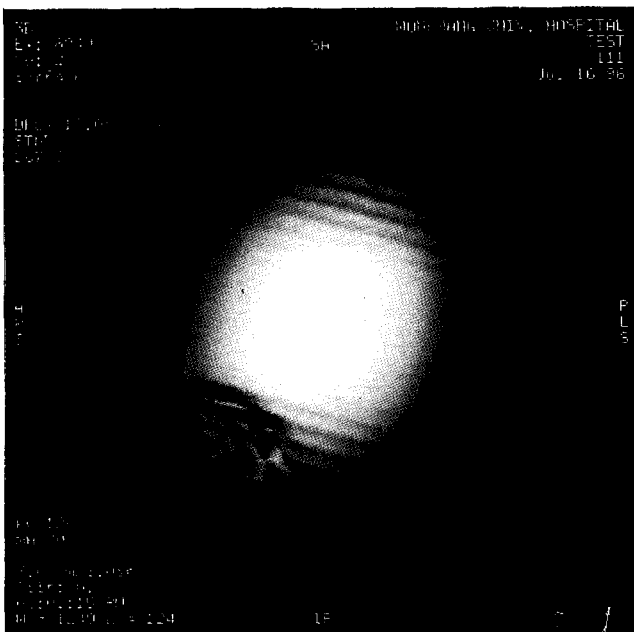


Fig. 14. Helical scan imaging for screening diagnosis

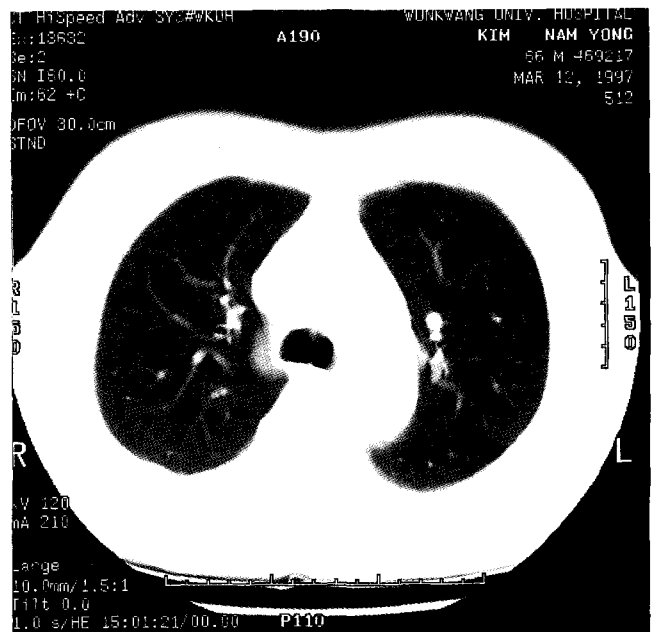


Fig. 15. Helical scan imaging for qualitative diagnosis

가로 넓은 axial plane에서 빠른 scan이 가능하나 실효 slice두께의 증가와 축방향에서의 공간분해능 저하로 screening을 위한 진단에는 적절하나 질적인 진단에는 부적합하며, 더욱이 partial volume 현상으로 CT치는 신뢰할 수 없다. 동일한 case에서 3 mm slice, 3 mm/rotation으로 설정시 넓은 범위의 빠른 scan은 불가능하나 실효 slice두께의 증가가 제한되고 공간분해능이 향상되므로 질적진단을 할 수 있으며, 3차원 재구성영상을 쉽게 만들 수 있다(Fig. 14~15).

VI. 결 론

일반적으로 질적인 진단을 위해 특정 slice 두께를 감소시켜야 하며 axial 방향에서의 공간분해능의 증가를 목적으로 할 경우 table 동작속도를 적절히 낮추어야 한다. 이와같은 결정은 임상분야에서 물리학자와 적절한 정보교환으로서 이루어 진다. Conventional CT와 달리 helical CT에서는 재구성 상이 동일지점에서 형성되지 않으며 data와 일치하지 않는 투영방향에서 artifact가 발생한다. 특히, 실효 slice두께의 증가와 table 동작속도의 증가는 missing data의 발생을 유발하며 만족할 만한 재구성 영상을 얻을 수 없다. 이런 문제점들은 table 동작속도와 상 재구성 interval 같은 새로운 parameter를 이해함으로써 해결되리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Performance evaluation committee of CT : The standards about performance evaluation of X-ray computed tomography equipments(second counsel), Journal of Japan medical association, 88, 1982.
2. Kimura K and Koga S : Basic principles and clinical applications of helical scan, 10~140, 1993.
3. Hanai K, Ihara F, Katsuta S, et al : Study on contrast resolution and optimum reconstruction interval in the helical CT, Jpn. J. Radiol. Technol., 50, 1994.
4. Tsujioka K, Anno F, Katada K, et al. : Basic examination of helical scan with fast CT, Jpn. J. Radiol. Technol., 47, 1991.
5. Katakura T, Suzuki K, Kimura K, et al : Basic study of X-ray CT, Jpn. Radiol. Technol., 43, 1987.
6. Toki Y : Examination of interpolation reconstruction method for helical scanning, Medical imaging technology 8, 253-254, 1990.
7. Katakura T, Kimura K, Suzuki K, et al : Basic studies on CT, Jpn. J. Tomogr., 247-250, 1989.
8. Tohki Y, Rifu T, Ardate H, et al : Evaluation of the interpolated reconstruction method in helical scanning, Medical imaging Technology, 253-254, 1990.
9. Editors Kazue Kimura and Sukehiko Koga : Basic Principles and Applications of Helical Scan, 1990.