eISSN 2384-1168 ISSN 2288-3509
Journal of Radiological Science and Technology, 38(4), 347-353 http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2015.38.4.03

<원저>

Digital Chest Tomosynthesis에서 부가필터에 따른 화질 및 유효선량

- Comparison of Image Quality and Effective Dose by Additional Filtration on Digital Chest Tomosynthesis -

삼성서울병원 영상의학과·[1)]가천대학교 방사선학과

김계선·김성철[1)]

— **국문초록** —

디지털 흉부단층합성법 검사에서 부가필터 사용에 따른 환자의 선량과 화질의 특성을 비교해보고자 하였다. 부가필터의 종류는 구리, 알루미늄, 니켈을 사용하였으며, 이 때 각 각의 부가필터에 따른 유효선량, 면적선량을 측정해 보았고, 화질의 물리적 평가방법으로 signal to noise ratio (SNR)과 contrast to noise ratio (CNR)을, 시각적 평가방법으로 contrast detail (CD) phantom을 이용한 CD 곡선을 비교하였다.

그 결과 부가필터별 조사선량이 비슷한 두께는 0.3 mmCu, 3 mmAl, 0.3 mmNi 였으며 부가필터를 사용하지 않았을 때 보다 조사선량 값이 평균 33.1% 감소하였다.

각 필터 별 dose area product (DAP) 선량값을 측정한 결과 Ni를 사용하였을 때 선량이 72.9% 감소하여 가장 낮았으며, 필터별 DAP 값은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.01$).

유효선량은 Ni를 사용하였을 때 가장 낮은 선량 값을 보였고, 필터를 사용하지 않았을 때 0.102 mSv에 비해 48.0% 감소하였다.

CD phantom에 의한 시각적 화질평가에서는 각 필터별로 비슷한 양상을 나타냈으며, 3가지 부가필터를 사용 하였을 때 SNR과 CNR은 평균 19.07, 18.17% 감소함을 보였다.

결론적으로 디지털 흉부 단층합성법 검사에서 부가필터로 Ni을 사용할 경우 유효선량 및 DAP 선량 감소, 화질에서 가장 적절함을 알 수 있었다.

중심 단어: 디지털흉부단층합성법, 부가필터, 유효선량

Ⅰ. 서 론

의료선진국의 경우 진단 방사선 검사를 실시하는 횟수가 연간 1인당 1회에 접근하는 것으로 보고되고 있고 국내에서도 국민의 삶의 질 향상과 더불어 건강증진에 대한 관심이 높아짐에 따라 진단 방사선분야에서도 건강검진 등 X선 검사의 횟수가 증가추세에 있다[1)].

병원의 외래 및 입원환자에게 가장 기본적으로 시행되는 X선 검사 빈도가 높아지면서 화질과 피폭선량을 결정하는 중요인자인 고유필터, 관전압, 관전류, 조사시간에 대한 연구 등 피폭선량을 줄이기 위한 노력이 활발히 이루어지고 있다[2,3)].

특히 부가필터사용은 flat-panel detector 도입과 digital processing 기법의 발달로 단순 흉부 영상에서 고관전압과 함께 사용되어도 영상 질의 저하 없이 환자선량을 감소시킬 수 있게 되었다[4)].

X선의 실효에너지를 증가시키기 위해 관전압을 높이기보

교신저자: 김성철 (21936) 인천광역시 연수구 함박뫼로191
가천대학교 방사선학과 Tel: 032-820-4364 / E-mail: ksc@gachon.ac.kr
접수일(2015년 10월 22일), 1차 심사일(2015년 11월 10일), 2차 심사일(2015년 12월 08일), 확정일(2015년 12월 16일)

다 Al, Gd, Ho, Yb, W 등 다양한 종류와 두께의 금속부가 필터를 삽입하는 것이 선량감소에 효과적이라는 다양한 연구가 진행되어왔다[5].

일반적인 조기검진 방법 중에 하나인 단순 흉부 X선검사는 저선량과 저비용의 장점을 가진 검사법으로 많이 사용되고 있지만[6] X선을 인체에 투과하여 흉부를 한 장의 편면 영상으로 표현하기 때문에 흉부에 존재하는 늑골이나 심장과 같은 해부학적 구조물에 의해 폐의 혈관과 결절을 구분하기 어렵다는 단점이 있다[7]. 최근 병변 발견에 큰 영향을 줄 수 있는 새로운 흉부 X선 영상기법들이 소개되고 있고, 그 중 하나로 단층촬영(tomograohy)과 합성(synthesis)의 합성어인 tomosynthesis검사법이 있다[8].

과거 영상증배관의 입력형광면이 곡면인 특성으로 인한 화상의 변형과 좁은 명암 비에 의한 흐린 영상이 단점 이였으나 최근 검출기와 재구성처리의 발달로 장해음영이 제거된 선명한 단층합성 영상이 가능해졌다. 위와 같은 기술의 발달로 Digital chest tomosynthesis(DTS)검사를 통해 겹쳐져 있는 흉곽 내 구조물을 제거해주고, 보고자하는 부분의 영상을 증강시켜줌으로써 단순흉부 X선 검사보다 더 많은 정보를 얻을 수 있어 미세한 폐결절 검출성능을 향상시키는 등 진단에 유리해졌다[9]. 물론 최근 방사선량을 줄인 흉부 저 선량 CT가 폐암의 조기검진 등에 많이 이용되고 있지만, 높은 방사선량은 CT 검사의 큰 단점이 된다[10]. 따라서 기존의 단순 흉부 X선검사 보다 검출능력이 우수하고, CT보다 낮은 방사선량을 가지고 있는 DTS 검사를 활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[7]. 하지만 DTS는 단순 흉부 X선검사 보다는 환자선량이 증가한다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 DTS검사에서 피폭선량을 줄이기 위하여 여러 종류의 부가필터를 사용하여 유효선량 및 화질평가를 비교해 보았다.

Ⅱ. 실험 재료 및 방법

1. 실험 기기 및 재료

DTS장치는 Definium8000(volume RAD, GE Healthcare, Milwaukee, WI)장비로 CsI/a-Si panel detector를 사용하였으며, 부가필터는 Cu, Al, mmNi 등 3가지를 이용하였다. 조사선량 측정에 Unfors Xi platinum (Raysafe, Sweden)를, DAP 측정을 위하여 DAP meter (kerma X-plus, 120-104HS, Bahnhofstrasse, Germany)를 사용하였다. 유효선량을 얻기 위한 흡수선량 측정은 유리선량계(DOSE ACE, ASAHI technology co, Japan)와 Rando phantom을 사용하였고, 화질평가를 위해 American Association of Physicists in Medicine(AAPM) chest phantom (76-211, Cardinal Health, USA)과 Contrast Detail phantom(07-652, Cardinal Health, USA), Rando Phantom(ARTF-1007, Radiology support device, Long beach, CA, USA)을 사용하였다. 유리선량계의 소자는 GD-302M이고, 선량계 판독기는 FGD-100 (ASAHI technology co, Japan)을 사용하였다.

2. 실험방법

1) 선량측정

부가필터의 두께는 Hamer 등[4]의 자료를 참고하여 화질에 변화가 없으면서 entrance skin dose (ESD)를 30% 정도 줄일 수 있는 Cu 0.3 mm를 기준으로 Al, Ni의 두께를 측정하였으며, 동일 관전압에서의 흡수물질별 알루미늄 흡수비를 측정하기 위해서 100 kVp, 320 mAs에서 Unfors Xi platinum를 이용하여 측정하였다.

3개의 필터에서 비슷한 투과선량을 보인 두께를 선택하고, 선택한 필터와 DAP meter를 collimator 앞에 부착하여 DTS검사 조건 100 kVp, 320 mA, dose ratio 1:5, speed 400에서 5번씩 조사하여 평균 DAP 값을 측정하였다.

흡수선량을 측정하기 위해 Rando phantom 내부 장기(thyroid-9, lung-14, heart-16, vertebral-16, liver-20, stomach-19)에 유리선량을 삽입하고, 표면선량을 측정하기 위해 팬텀 바깥 T6레벨 정중앙과 양쪽 폐부분에 유리선량계를 부착하여 DTS 검사조건 100 kVp, 320 mA, dose ratio 1:5, speed 400으로 하여 5번씩 조사하였다(Figure 1).

평균 흡수선량 값과 표면선량 값을 구하고, 그 값에 방사선하중계수와 조직가중치를 곱하여 유효선량 값을 구하였다.

Figure 1 Attach glass dosimeters on the surface of the Rando phantom

2) 화질평가

시각적 화질평가는 각 각의 부가필터를 콜리메이터 앞에 부착하고, AAPM chest phantom의 중앙에 Contrast Detail phantom(CD phantom)을 위치시킨 후 DTS 검사 후 raw 영상을 Picture Archiving and Communication System(PACS)로 전송하였다. DTS raw 영상 60개 중 CD phantom의 위치인 가운데 30번째 영상을 선택하여, 식별 가능한 CD 팬텀의 hole을 카운트하였다.

이 영상평가는 경력 10년차 이상 방사선사 4명이 하였으며, 4명이 카운트한 hole 개수의 평균값으로 그래프를 작성하였다.

또한 정량적평가를 위해 Lung chest 팬텀을 디텍터 앞에 위치시키고, 0.3 mmCu, 3 mmAl, 0.3 mmNi 필터를 변경하면서 DTS 촬영을 한 후, Image J를 이용하여 오른쪽 상단에 백그라운드 관심영역(region of interest, ROI)을 정하고, 폐부분 5곳에 Signal to Noise Ratio(SNR)과 Contrast to Noise Ratio(CNR) 측정에 필요한 평균값과 표준편차를 구하기 위해 ROI를 지정하였다(Figure 2).

SNR, CNR측정은 ROI의 신호강도의 평균과 표준편차를 측정한 후, ROI를 제외한 백그라운드의 신호강도 평균과 표준편차를 구하여 다음과 같은 식으로 측정하였다.

$$SNR = \frac{Background\ SI_{Avg} - ROI\ SI_{Avg}}{ROI\ SD} \quad 식(1)$$

$$CNR = \frac{Background\ SI_{Avg} - ROI\ SI_{Avg}}{\sqrt{Background\ SD^2_{Avg} + ROI\ \ SD^2_{Avg}}} \quad 식(2)$$

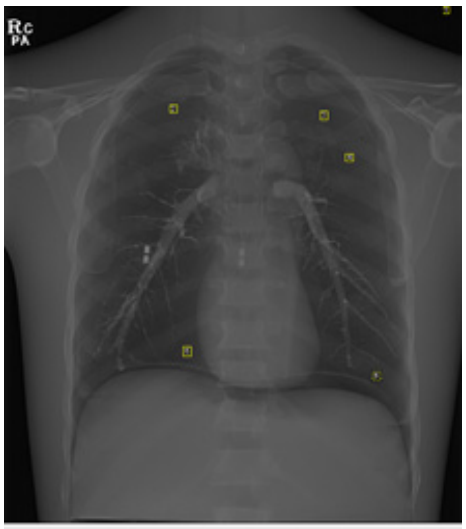


Figure 2 ROI regions in chest image (Right upper square-background, Another square except background-lung ROI)

3. 통계

3종류의 부가필터에 따른 DAP 값, 화질평가의 SNR, CNR의 통계적 유의성을 검정하기 위해 one way ANOVA 검증을 실시하였고, Scheffe test를 통하여 사후검증을 하였으며, 통계프로그램은 SPSS(Ver18.0, USA)을 이용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 선량측정

1) 필터별 조사선량 측정

0.3 mmCu 필터를 사용하여 조사선량을 구한 결과 1.15 mR였고, 3 mmAl와 0.3 mmNi에서 각각 1.16, 1.08 mR로 0.3 mmCu와 가장 비슷한 조사선량 값이 측정되어 모든 실험에서 Cu 0.3 mm, Al 3.0 mm, Ni 0.3 mm로 실험을 진행하였다.

2) DAP

필터를 사용하지 않았을 때와 각 필터 종류별 선택된 두께 0.3 mmCu, 3 mmAl, 0.3 mm Ni 일 때 DAP meter로 DTS 검사 후 측정된 DAP 값은 4.32, 1.47, 1.62, 1.17 $\mu Gy \cdot cm^2$로 통계적으로 유의한 차이를 보였으며($p<0.01$), 부가필터로 Ni을 사용할 때 가장 낮은 값을 보였고, 필터를 사용하지 않았을 때보다 각각 65.9, 62.5, 72.9% 감소하였다(Table 1),(Table 2).

Table 1 DAP value by 3 different type of filter

(unit : $\mu Gy \cdot cm^2$)

Additional filter	Non filter	0.3 mmCu	3 mmAl	0.3 mmNi
DAP ($\mu Gy \cdot cm^2$)	4.32	1.47	1.62	1.17

Table 2 The result of one-way ANOVA and Scheffe test

Additional filter	Mean ± *SD*	*F*	*p* - value	Scheffe
0.3 mmCu	1.47 ± 0.04			
3 mmAl	1.62 ± 0.02	340.4	0.00**	Ni < Cu < Al
0.3 mmNi	1.17 ± 0.03			

** : $p < 0.01$

3) 흡수선량 및 유효선량

흡수선량의 변화는 필터를 사용하지 않았을 때에 비해 척추와 피부에서 가장 큰 감소 차이를 보였다. 필터를 사용한 그룹 간끼리 비교해보면 Al 필터를 사용하였을 때 심장, 척추, 위, 피부 부위에서 다른 필터를 사용했을 때보다 높은 흡수선량 값을 보였고, Cu 필터를 사용하였을 때 폐에서 높게 나타났다. 그 외 갑상선이나 간에서는 그래프 간 큰 차이가 나타나지 않았다(Table 3).

유효선량 계산 결과 필터를 사용하지 않았을 때 0.102 mSv, 0.3 mmCu일 때 0.0613 mSv, 3 mmAl일 때 0.0611 mSv, 0.3 mmNi일 때 0.0530 mSv로 각각 38.8, 40.1, 48% 감소함을 보였다. DAP뿐만 아니라 유효선량에서도 Ni을 사용 하였을 때 가장 선량이 낮음을 알 수 있었다.

1) 시각적 평가

AAPM 팬톰 및 CD 팬톰을 이용한 시각적 화질에서는 각각의 부가필터시 측정된 영상의 hole에 차이가 없이 동등한 수준의 그래프를 나타내었다(Figure 3).

2) SNR, CNR

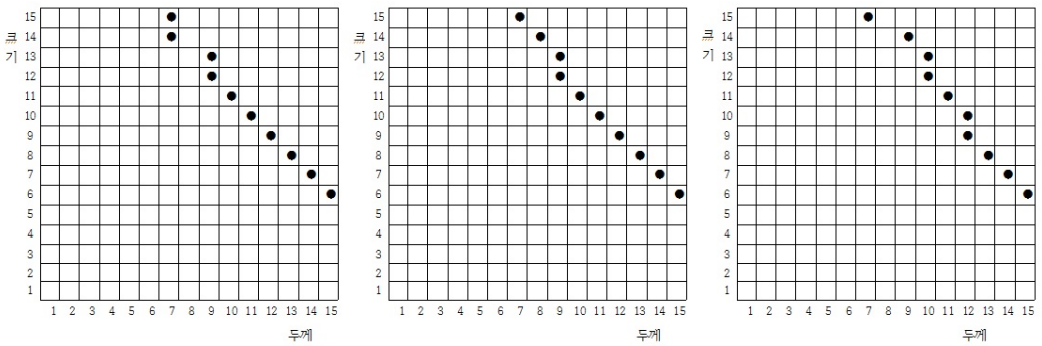
부가필터를 사용하지 않았을 때 폐 ROI 평균값은 SNR 47.010, CNR 42.104이였고, 부가필터를 사용 하였을 때 SNR과 CNR은 평균 19.07, 18.17% 감소하였으며, 또한 각각의 부가필터에 따른 SNR, CNR값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4),(Table 5), (Table 6).

Table 3 Absorbed dose of each organ using filters

(unit : mGy)

Additional filter	Thyroid (9)	Average lung (14)	Heart (16)	Vertebral (16)	Liver (20)	Stomach (19)	Skin
Non filter	0.139	0.286	0.283	0.457	0.296	0.292	0.52
0.3 mmCu	0.07	0.167	0.221	0.258	0.124	0.214	0.22
3 mmAl	0.068	0.126	0.234	0.268	0.118	0.252	0.263
0.3 mmNi	0.066	0.125	0.196	0.207	0.108	0.204	0.182

* 괄호 안에 숫자는 유리선량계를 삽입한 rando phantom slice 번호



a) Cu filter b) Al filter c) Ni filter

Figure 3 Contrast detail curve to get through CD phantom

Table 4 Results of SNR, CNR of Lung and Heart by using filters

Additional filter	SNR	CNR
Non filter	47.010	42.104
0.3 mmCu	38.894	35.672
3 mmAl	37.971	34.189
0.3 mmNi	37.492	33.501

Table 5 The results of one-way ANOVA and Scheffe test of SNR

Additional filter	Mean ± *SD*	*F*	*p* - value	Scheffe
0.3 mmCu	38.894 ± 8.691	.000	1.000	*P*=1.000 (동일집단)
3 mmAl	37.971 ± 8.301			
0.3 mmNi	37.492 ± 8.100			

Table 6 The results of one-way ANOVA and Scheffe test of CNR

Additional filter	Mean ± *SD*	*F*	*p* - value	Scheffe
0.3 mmCu	35.672 ± 7.573	.000	1.000	*P*=1.000 (동일집단)
3 mmAl	34.189 ± 7.060			
0.3 mmNi	33.501 ± 6.320			

Ⅴ. 고 찰

폐에 대한 가장 기본적인 검사방법인 단순 흉부 X선검사는 폐 결절의 검출이 어렵고, CT는 볼륨데이터로 생성하기 때문에 폐 결절 검출 민감도가 뛰어나지만 피폭선량이 많고 비용이 많이 든다는 단점을 가지고 있다. 볼륨데이터를 생성할 수 있는 DTS검사는 단순 흉부 X선검사보다 높은 폐 결절 검출 민감도와 CT보다 적은 피폭선량으로 폐 조기검진방법으로 주목 받고 있다[6]. 이는 3~10 mm 폐결절을 단순 흉부 X선검사에서 22% 검출한 것에 비해 DTS에서 70% 검출했다는 결과의 논문에서 DTS의 우수한 검출민감도에 대해 확인 할 수 있다[11].

Sabol JM[12] 의 연구에서도 단순 흉부 X선검사, DTS 및 CT에서 유효선량 값이 각 각 0.017 mSv, 0.124 mSv, 7 mSv로 DTS검사가 CT보다 현저히 피폭선량이 적고, 단순 흉부 X선검사에 비해서는 높게 나타났다. DTS는 CT나 그 밖의 고선량 영상의학검사에 비해 선량이 미미한 수준이라고 할 수 있지만, 단순 흉부 X선검사에 비해서는 높은 선량을 나타내기 때문에 선량을 줄이려는 연구가 계속되고 있으며, 김 등[13]은 kVp와 dose ratio 등의 검사조건의 변경으로 유효선량을 57.4% 감소시켰다.

원자번호가 13으로 가장 낮은 Al의 경우 일반적인 검사에서 저에너지 방사선의 여과효율이 우수하기 때문에 가장 많이 사용되는 여과판 재질이다. 두께가 증가하면서 선량감소의 폭이 Cu와 Ni에 비해 적게 나타나, Al 필터만 사용 시 가장 두꺼워질 우려가 있으며, 원자번호가 29인 Cu의 경우 아주 저렴하게 구하기 쉬운 장점이 있으나 K흡수단에 의한 특성선 제거용으로 Al필터와 복합으로 사용해야 되는 불편함이 있다. 이러한 이유 때문에 관전압 100 kVp 이상일 때는 3 mmAl + 0.25 mmCu을 사용하는 것이 적절하다는 연구도 있다[14].

원자번호가 28으로 구리와 비슷한 Ni의 경우 구리와 비슷한 조사선량 값을 보였고, 3개의 필터 중 가장 낮은 DAP 값과 유효선량 값이 나타났으며, 화질평가에서도 다른 필터들과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 X선 필터 재질로 Ni은 표면선량감소율이 40~50%로 상당히 우수하면서 Al에 비하여 2~3배의 완만한 tube load증가율을 보이므로 사용된 재질 중에서 필터 효과가 가장 우수하다는 보고도 있다[15].

본 연구에선 3개의 국한된 필터만 단독으로 사용하였으나, 복합적으로 짝지어 필터의 특성을 이용하고 보완하면서 선량을 낮출 수 있는 실험도 이루어져야겠다.

Ⅴ. 결 론

디지털 흉부단층합성법검사에서 다양한 부가필터를 이용해 유효선량 및 화질평가를 비교해 보고, 피폭선량을 감소시키면서 가장 적합한 필터를 본 연구에서 제시하고자 하였다.

본 연구를 통해 필터의 화질평가와 선량값 감소, 두께, 필터 특성 등을 종합적으로 고려하였을 때 DTS검사 시 Ni 필터를 사용하는 것이 환자선량을 가장 효율적으로 줄이며, 화질에 영향을 주지 않는 가장 효과적인 방법이라 사료된다.

참고문헌

1. Korea Ministry of Food and Drug Safety, Radiation safety management series No.14, Patient dose recommended guidelines, 2007
2. Bacher K, Smeets P, Bonnarens K, De Hauwere A, Verstraete K, Thierens H. : Dose reduction in patients

undergoing chest imaging: Digital amorphous silicon flat-panel detector radiography versus conventional film-screen radiography and phosphor-based computed radiography. Am. J. Roentgenol. 181(4), 923-929, 2003

3. Kroft LJ, Veldkamp WJ, Mertens BJ, van Delft JP, Geleijns J. : Detection of simulated nodules on clinical radiographs: dose reduction at digital posteroanterior chest radiology. Radiology, 241(2), 392-398, 2006
4. Hamer OW, Sirlin CB, Strotzer M. et al. : Chest radiography with a flat-panel detector:Image quality with dose reduction after copper filtration, Radiology, 237(2), 691-700, 2005
5. Arkins HL, Fairchild RG, Robertson JS, Greenburg D. : Effect of absorption edge filters on diagnostic X-ray spectra, Radiology. 115(2), 210-214, 1975
6. Seung-Hoon Chae, Sung Bum Pan : Lung Segmentation Method on Chest Tomosynthesis, JKIIT, 12(5), 51-58, 2014
7. Dobbins JT, McAdams HP, Godfrey DJ, Li CM. : Digital tomosynthesis of the chest. J Thorac Imaging 23(2), 86-92, 2008
8. M. Ito, H. Ohmatsu, Y. Naito, H. Kenmotsu, Y. : The clinical utility of tomosynthesis in lung cancer Diagnosis, Shimadzu clinical Application, 1-3, 2009
9. McAdams HP, Samei E, Dobbins J, 3rd, Tourassi GD, Ravin CE. : Recent advances in chest radiography. Radiology 241(3), 663-683, 2006
10. Bach PB, Mirkin JN, Oliver TK et al. : Benefits and harms of CT screening for lung cancer a systematic review. The Journal of the Americal Medical Association, 307(22), 2418-2429, 2012
11. James TD, McAdams HP, Song JW, et al. : Digital tomosynthesis of the chest for lung nodule detection: interim sensitivity results from an ongoing NIH-sponsored trial, Med Phys, 35, 2554-2557, 2008
12. Sabol JM. : A monte carlo estimation of effective dose in chest tomosynthesis, Medical Physics, 36, 5480, 2009
13. Kye-Sun Kim, Sung-Min Ahn, Sung-Chul Kim : Digital tomosynthesis imaging of the chest. The Journal of the Korea Contents Association, 13(9), 288-294, 2013
14. K. M. Choi, S. I. Shin, J. M. Yoon, S. C. Kim, S. S. Lee, J. Huh : The reduction of radiation dose using key-filter in chest radiography, Journal of Korean society of radiological technology, 19(2), 67-70, 1996
15. Min-Yong Lee : The effect of x-ray filter materials in the skin dose & tube loading at x-ray examinations, Korea university, 38-39, 2005

•Abstract

Comparison of Image Quality and Effective Dose by Additional Filtration on Digital Chest Tomosynthesis

Kye-Sun Kim·Sungchul Kim[1)]

Dept. of Dignostic Radiology, Samsung Medical Center
[1)]Dept. of Radioligical Science, Gachon University

The purpose of this study is to suggest proper additional filtration by comparisons patient dose and image quality among additional filters in digital chest tomosynthesis (DTS). We measured the effective dose, dose area product (DAP) by changing thickness of Cu, Al and Ni filter to compare image quality by CD curve and SNR, CNR.

Cu, Al and Ni exposure dose were similar thickness 0.3 mm, 3 mm and 0.3 mm respectively. The exposure dose using filter was decreased average about 33.1% than non filter. The DAP value of 0.3 mm Ni were decreased 72.9% compared to non filter and the lowest dose among 3 filter. The effective dose of 0.3 mm Ni were decreased 48% compared to 0.102 mSv effective dose of non filter.

At the result of comparison of image quality through CD curve there were similar aspect graph among Cu, Al and Ni. SNR was decreased average 19.07%, CNR was average decreased 18.17% using 3 filters.

In conclusion, Ni filtration was considered to be most suitable when considered comprehensive thickness, character, sort of filter, dose reduction and image quality evaluation in DTS.

Key Words : Digital chest tomosynthesis, Additional filter, Effective dose