

<원저>

전산화단층촬영장치를 이용한 뇌 혈관조영 검사에서 관전압 변화에 따른 방사선량과 영상의 질 평가

- The Evaluation of the Radiation Dose and Image Quality Through the Change of the Tube Voltage in Cerebral CT Angiography -

대구가톨릭대학교 방사선학과

이지원·정강교·조평곤

— 국문초록 —

다중검출기전산화단층촬영장치(Multi-Detector Computed Tomography; MDCT)를 이용한 뇌혈관 진단을 위해 뇌혈관전산화단층촬영검사(Brain Computed Tomography Angiography; BCTA)검사 시 동일한 조영제 주입 후 관전압 변화에 따라 변화되는 뇌동맥의 CT Number 값을 통해 방사선량과 영상의 질 변화를 알아보려고 하였다.

BCTA검사를 받기 위해 내원한 환자 50명을 대상으로 각 25명씩 두 그룹으로 나누어 관전압(A그룹: 80kVp, B 그룹: 120kVp)을 제외한 모든 조건을 동일한 조건(Beam Collimation 128 x 0.6 mm, Pitch 0.6, Rotation Time 0.5s, Slice Thickness 5.0 mm, Increment 5.0 mm, Delay Time 3.0s, Care Dose 4D(Dimension ; D))으로 하여 검사를 실시하였다. 얻어진 모든 영상에서 좌 대뇌동맥, 우대뇌동맥, 후 대뇌동맥, 뇌 실질조직 등 네 부위에 관심 영역(Region of Interest; ROI)을 설정하여 의료영상 저장 전송 시스템(Picture Archiving Communications System; PACS, G3, Infinitt, Korea)에서 CT Number 값을 측정하여 정량적 평가와 정성적 평가, 유효선량을 비교 하였다.

BCTA검사에서 얻어진 각각의 영상에서 CT Number를 이용한 영상평가 결과 80kVp로 검사한 영상이 120kVp 검사에 비해 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR) 18%, 대조도 대 잡음비(Contrast to Noise Ratio; CNR)가 19%이상 높게 나타났다. 그리고 피폭선량의 경우 관전압 80kVp에서 120kVp를 적용한 영상에 비해 50% 이상 감소됨을 확인할 수 있었다.

A그룹(25명)은 관전압 80kVp로 촬영을 하였으며 B그룹(25명)은 관전압 120kVp로 검사를 하여 영상의 화질 및 선량을 비교 평가하였다. 기존의 고관전압과 비교하여 관전압을 낮게 설정하여 검사할 경우 진단에 영향 없이 방사선량을 감소시킬 수 있어 매우 유용하리라 판단된다.

중심 단어: 뇌 혈관 전산화단층촬영검사, CT number, 영상의 질, 방사선량

I. 서 론

최근 의료기술 분야의 비약적인 발전으로 CT검사는 진단 영역에서 첨단화를 가속하고 있다. 1972년 최초의 두부 전용 전산화 단층 촬영 장치(Computed Tomography, CT)의 개발

을 시작으로 1998년 12개의 검출기 배열(detector array)를 가진 다중 검출기 전산화단층 촬영 장치(Multi detector computed tomography, MDCT)가 개발되어 한 번의 방사선 노출로 최대 16개 영상획득이 가능해졌고, 2000년 이후 64, 128 채널 이상 CT장비(Multi Detector Computed Tomography)

교신저자: 조평곤, (712-702) 경북 경산시 하양읍 하양로 13-13

대구가톨릭대학교 방사선학과, Tel: 053-850-2523 / E-mail: jjpkcho@cu.ac.kr
접수일(2015년 04월 29일), 심사일(2015년 05월 11일), 확정일(2015년 06월 08일)

를 각 병원마다 설치 운영 중에 있으며 그로 인해 한 번의 겐트리(gantry) 회전으로 64, 128 슬라이스 이상 영상을 획득할 수 있기 때문에 검사 시간을 단축시키고 또한 고해상도의 영상과 진단영역에서의 많은 정보를 제공할 수 있게 되었다. 특히 영상 재구성 기법과 3차원 영상 기법의 유용성으로 인하여 진단 분야에서 CT 검사는 많은 비중을 차지하고 있으며 CT 장비의 증대와 CT검사 건수는 해마다 증가하는 추세이다¹⁾. 식품 의약품 안전처 보고에 의하면 우리나라 국민의 진단용 방사선 검사 건수는 2007년 1억 6천만 건, 2008년 1억8천만 건, 2009년 1억9천만 건, 2010년 2억1천만 건, 2011년 2억2천만 건으로 5년간 약 35% 증가하고 있다. 또한 국민 일인당 연간 진단용 방사선 피폭량은 2007년 0.93 mSv에서, 2008년 1.06 mSv, 2009년 1.17 mSv, 2010년 1.28 mSv, 2011년 1.4 mSv로 5년간 약 51 % 증가하고 있는 추세이다. 2011년 총 검사건수의 2.8 %(6백만 건)에 불과한 CT 촬영이 국민 일인당 연간 피폭량의 56.4 %(0.79mSv)를 차지하고 있어 방사선 안전관리가 시급한 것으로 조사되었다^{1,2)}. 또한 최근 국제 방사선 방어위원회 (International Commission on Radiological Protection Recommendations; ICRP) 에서는 ICRP 2007 New Recommendation인 ICRP 103을 통해 두부(Brain), 타액선(Salivary gland)과 같은 두, 경부 영역의 조직 가중치를 새로이 규정하고 이에 대한 방사선 위해성에 대하여 새로운 재평가가 필요하다고 언급하고 있다³⁾. 두부 혈관 조영 전산화 단층 검사(Brain Computed Tomography Angiography, BCTA)의 경우 스캔(Scan) 시간이 짧고 체적 정보 수집이 (Volumetric Data Acquisition)이 가능하여 혈관만을 선택적으로 영상화한 것으로 일반 인구의 2 - 8%에서 나타나는 뇌혈관 질환인 두개 내 동맥류(Intracranial Aneurysm)와, 뇌경색(Infarction)의 진단에 많이 이용되고 있는 검사로 기존 뇌혈류 조영 검사(Cerebral Angiography)에 비해 비 침습적이며 여러 가지 합병증을 예방할 수 있는 검사이다⁴⁻⁶⁾. 이에 본 연구에서는 MDCT를 이용하여 뇌졸중(Stroke)이 의심되는 경우 환자에게 시행하는 BCTA 검사 시 관전압 차이를 두어 조영제 주입 후 뇌 동맥의 CT Number 값을 이용, 영상의 질적 평가와 선량 변화를 평가 연구하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

2014년 5월부터 10월까지 6개월 동안 경상북도 북부지역 A병원에서 BCTA 검사를 위해 신경과, 신경외과, 응급실로

내원한 환자들 중 영상판독 결과 질환이 없는 50명의 환자들을 대상으로 후향적으로 조사하였다. 남자 22명, 여자 28명 이었으며 평균 연령은 57세였다. 연구 대상은 두 그룹으로 구분하였으며 A그룹(25명)은 관전압 80kVp로 검사하였고, B그룹(25명)은 관전압 120kVp로 검사하여 영상의 질 및 선량을 비교 평가하였다. 이때 검사대상자 모두 조영제 부작용은 없었다.

2. 검사 방법

1) 기기

본 연구에 사용한 장비는 128 Channel MDCT(Somatom Definition AS+, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany) 이었다. 검사 시 관전압을 제외한 다른 모든 촬영조건은 동일하게 설정하였다.[Beam Collimation 128 x 0.6 mm, Pitch 0.6, Rotational Time 0.5s, Slice Thickness 5.0 mm, Increment 5.0 mm, Delay Time 3.0s, Care Dose 4D(Dimension, D)].

2) 조영제

BCTA검사는 조영제 사전 반응 검사(Skin Test) 후 전완 정맥(Antecubital Vein)에 메디컷(Medicut 18 G)을 삽입하여 실시하였다. 비이온성 요오드 조영제(Iobrix 350 mg I/mL, Accuzen)를 사용하여 조영제 자동 주입기(Dual Shot Auto Injector, Stellant, Medrad, Inc. USA)를 통해 조영제를 먼저 주입(Flow rate 5.0 ml/s, volume 40 mL)하고 생리식염수를 추가로 주입(Volume 60 mL)하는 Two-Phasic Protocol를 표준으로 사용하였다.

3. 영상평가

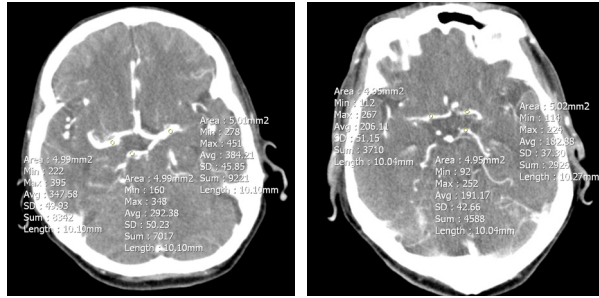
1)정량적 평가

MDCT를 이용한 BCTA 검사의 동맥기(Arterial phase)영상에서 의료 영상 저장 전송 시스템 (Picture Archiving Communication System, PACS, G3, Infinitt, Korea)을 이용하여 좌측 중대뇌 동맥(Lt. Middle Cerebral Artery, Lt. MCA), 우측 중대뇌 동맥(Rt. Middle Cerebral Artery, Rt. MCA), 후 대뇌 동맥(Posterior Cerebral Artery, PCA) 그리고 뇌 실질 내 주변지점(Background)에 4.5 ~ 5.5 mm² (평균 5.0 mm²) 크기의 관심영역(Region Of Interest, ROI)을 설정하여 CT Number, 표준편차(Standard Deviation, SD), 신호 대 잡음비(Signal To Noise Ratio, SNR) 그리고 대조도 대 잡음비(Contrast To Noise Ratio, CNR)를 평가하였다(Figure1).

Noise = 표준편차(standard deviation, SD)

$$SNR = \frac{CT\ Number}{SD}$$

$$CNR = \frac{CT\ Number - 뇌\ 실\ 질\ CT\ Number}{SD}$$



(a) 80 kVp (b) 120 kVp

Figure 1 Measure of ROI in Image

2) 정성적 평가

본원 두부 CT 영상 판독 경력이 풍부한 영상의학과 전문의 1명과 임상 경력 10년 이상인 방사선사 2명을 대상으로 기존 CT영상과 비교하여 해상력(Resolution), 대조도(Contrast), 영상의 포함범위 그리고 영상의 적정성 등을 종합하여 평가하였다. 평가는 PACS를 이용하여 Blind Test로 Good(3점), Moderate(2점), Bad(1점)으로 평가하였다.

3) 선량 평가

BCTA 검사 후 재구성된 영상과 검사 프로토콜을 PACS로 전송 후 모니터에 표시된 동맥기 체적 피폭 선량(CT Dose Index, CTDIvol)과 선량 길이 곱(Dose Length Product, DLP)을 비교하였다(Figure 2). DLP를 이용하여 유효선량(Effective Dose, ED)을 계산하였다. 이때 유효선량은 EUR에서 권고하는 유효선량 변환 계수 Table 1.를 적용하여 계산하였다⁷⁾.

Table 1 EUR Organ Effective Dose

Region of body	conversion coefficient
Head	0.0021
Head & Neck	0.0031
Neck	0.0059
Chest	0.014
Abdomen	0.015
Pelvis	0.015
Trunck	0.015

[Eff = conversion coefficient * DLP,(mSv)]
 DLP(mGy.cm) = CTDIvol(mGy) x L(cm)

Ward: VV		Physician: any		Operator:		
Total mAs 3237		Total DLP 1096 mGy.cm				
Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol* mGy	DLP mGy.cm	TI s	cSL mm
Patient Position H-SP						
Topogram	1	100	40 mA	0.09 L	2	2.7 0.6
PRE	2	120	300	42.83 S	906	0.5 0.6
PreMonitoring	3	120	20	2.47 S	2	0.5 10.0
Contrast						
Monitoring	4	120	20	32.09 S	32	0.5 10.0
ANGIO	17	80	167 / 243	7.30 S	154	0.5 0.6

Figure 2 The image of CTDIvol and DLP display

III. 결 과

1. 영상평가

1) 정량적 평가

(1) CT Number & Noise

각 그룹별 관전압을 변화 하면서 조영제 투여 후 영상을 획득하여 관심영역별 CT Number를 측정 평가하였다. 관전압을 80 kVp로 설정 하였을 때 120kVp와 비교하여 대조도는 증가하였다. 평균 CT Number는 Table 2에서 보는 바와 같이 Lt. MCA 22%, Rt. MCA 22%, 그리고 PCA 23% 증가 하였다. Noise는 관전압 120 kVp와 80 kVp에서 큰 차이는 없었으나 저 관전압에서 6% 높게 나타났다(Table 2).

(2) SNR (Signal to Noise Ratio)

신호 대 잡음비(SNR)는 Table 3에서 보는 바와 같이 관전압을 80 kVp로 설정했을 때 증가하였으며 Lt. MCA 18%, Rt. MCA 18% 그리고 PCA 17% 증가한 것으로 나타났다

(3) CNR (Contrast to Noise Ratio)

대조도 대 잡음비(CNR)는 Table 4에서 보는 바와 같이 관전압을 80kVp로 하였을 경우 SNR과 같이 증가하였다. Lt. MCA 19%, Rt. MCA 19%, 그리고 PCA 18% 증가한 것으로 나타났다. 이는 각 혈관의 관심영역에서 CT number의 증가에 비해 뇌 실질조직의 CT Number는 거의 일정하기 때문이다.

2) 정성적 평가

Figure 3에서 보는 바와 같이 A 그룹 217, 평균 2.8점 그리고 B 그룹 206, 평균 2.7점으로 A 그룹의 결과가 조금 높았다. 또한 모든 영상에서 2점 이상의 점수를 나타내 진단 시 큰 문제가 없는 걸로 나타났다.

2. 선량 평가

선량은 모니터에 표시되는 CTDIvol (mGy)값과 DLP 값을 측정하여 비교하였다. B 그룹에 비해 관전압이 낮은 A

그룹에서 CTDIvol이 9.7 mGy(57%) 감소하였고, 유효선량은 0.4 mSv(50%) 감소하였다(Table 5).

Table 2 The Results of image vessel at ROI HU, SD analysis

Group	LT,MCA		RT,MCA		PCA(p)		Background	
	HU	SD	HU	SD	HU	SD	HU	SD
A(80 kVp)	343.1 ± 20.1	34.0 ± 6.0	344.1 ± 14.1	34.5 ± 6.3	349.1 ± 14.6	44.4 ± 3.9	36.5 ± 2.9	6.8 ± 1.5
B(120 kVp)	281.8 ± 14.4	32.8 ± 5.2	282.8 ± 14.0	34.6 ± 9.3	283.4 ± 11.4	31.2 ± 5.6	34.5 ± 4.1	5.1 ± 0.6

Table 3 The Results of SNR Analysis

Group	LT,MCA	RT,MCA	PCA
A(80 kVp)	10.4 ± 1.6	10.3 ± 1.7	10.2 ± 1.2
B(120 kVp)	8.8 ± 1.3	8.7 ± 2.3	8.7 ± 1.5

Table 4 The Results of CNR Analysis

Group	LT,MCA	RT,MCA	PCA(p)
A(80 kVp)	9.2 ± 1.4	9.2 ± 1.5	9.1 ± 1.1
B(120 kVp)	7.7 ± 1.2	7.7 ± 2.0	7.7 ± 1.4

Table 5 The Result of CTDIvol and Effective Dose

Group	CTDIvol (mGy)	DLP (mGcm)	ED (mSv)
A(80 kVp)	7.3 ± 0.92	156 ± 17.2	0.4 ± 0.04
B(120 kVp)	17 ± 2.03	351 ± 37.4	0.8 ± 0.10

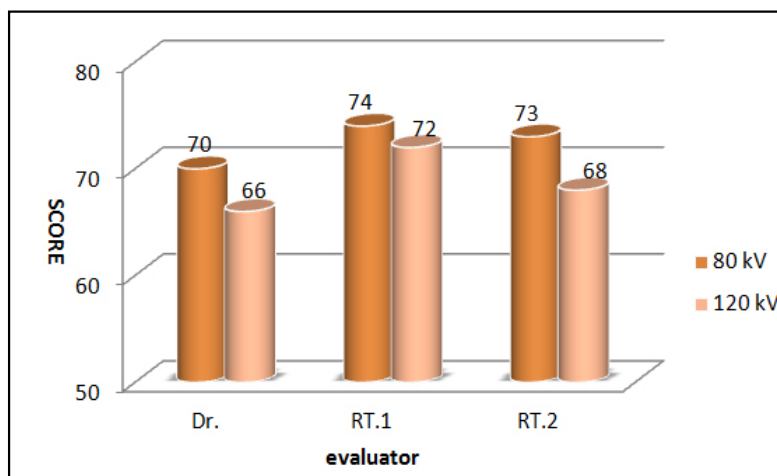


Figure 3 Subjective Evaluation Of The BCTA image

IV. 고 찰

2009년 사망원인 통계 조사결과 우리나라 3대 사망 원인은 악성 신생물, 뇌혈관 질환, 심장 질환으로 총 사망자의 47.8%를 차지하며 특히 60대 이상에서는 뇌혈관 질환에 의한 사망률이 높게 나타났다. 뇌혈관 질환은 빠른 시간 내에 원인 분석 및 진단을 할 경우 혈전 용해술로 치료가 가능하며 향후 환자의 예후에도 큰 영향을 미치기 때문에 빠른 시간 내에 응급 진단을 위한 검사가 시행 되어야 한다. 또한 두부에 질병이 있는 환자들은 추적검사를 자주 하며 소량의 선량 감소라도 무시할 수 없는 문제이다.⁸⁻¹¹⁾ 방사선량과 관련이 있는 요소는 관전압, 관전류, pitch, 빔폭 조절(beam collimator), 스캔범위 및 촬영 횟수 등이다. 보통 두부 CT에서는 120 kVp의 관전압을 사용하는데, 어린이나 마른 환자의 경우는 80 kVp나 100 kVp의 관전압을 사용하여도 화질이 떨어지지 않고, CT혈관 조영 검사 등은 조영제가 들어 있는 혈관을 보는 검사이므로 조영제의 대조도를 높게 관찰할 수 있도록 80 kVp의 관전압 사용을 권고하고 있다¹²⁻¹⁴⁾. Malte L Bahner 등¹⁵⁾은 BCTA촬영에서 80 kVp 사용 검사 시 유효선량 0.4 mSv, 120 kVp에서 0.7 mSv로 나타났으며, HU값의 경우 80 kVp에서 297 ~ 458, 120 kVp에서 152 ~ 229로 보고하였다. CNR 역시 120 kVp에 비해 80 kVp일 때 26 ~ 59% 높다고 보고하였다. Ying Guo 등은¹⁶⁾ 하지 혈관조영 단층 검사(Lower Extremity CT Angiography)에서 120 kVp에 비해 80 kVp 사용 시 피폭 선량이 13.4 %감소를 한다고 보고 하였다. 그리고 관전류는 최소한으로 사용하고 자동노출장치를 사용하는 경우 인체의 부위에 따라 자동으로 조절되므로 선량조절에 유리하다¹⁷⁾.

이번 연구에서도 결과에서 보는 바와 같이 전반적으로 선행 연구와 비슷한 결과를 보였으며 120 kVp에 비해 80 kVp 사용 시 HU 22%, SNR 18% 그리고 CNR이 19% 이상 높다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 피폭선량의 경우 1999년 European Commission의 EUR에서 발표한 CT검사 시 방사선피폭 기준에 관한 유럽 가이드라인 DRL은 방사선 검사 중 두정부 CT 검사의 DLP에 유효선량 변환계수를 적용한 유효 선량 (Effective doses)은 2 mSv인데 비해¹⁸⁾ 본 연구에서는 120 kVp 0.8 mSv, 80 kVp 0.4 mSv로 나타났다.

이번 연구의 제한점으로는 연구대상이 한 지역에 한정되어 진행되었고, 대부분의 검사대상 연령이 고령 인구가 많은 점과 관전압의 다양성이 부족한 점이며 향후 표본의 수와 다양한 연령층을 대상으로 연구를 진행하면 더욱 더 신뢰할 수 있는 자료가 될 것으로 기대된다.

V. 결 론

BCTA검사 시 기존에 사용하던 프로토콜과 비교하여 관전압을 낮게 설정하여 검사를 진행할 경우 SNR, CNR이 약 18 %이상 높게 나타났고, 방사선 피폭의 경우 영상의 질을 유지하고 진단에 영향을 미치지 않으면서 약 50% 정도 감소됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Jae Ki LEE, *et al.*: Patient dose management in computed tomography (CT) scan. ICRP Journal 87, 2000.
2. Ministry of Food and Drug Safety: CT radiation dose the patient record management business conducted nationwide, 2014
3. International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In ICRP Publication 103. Ahn. ICRP(2007)37(2/3), 2007
4. Toshihide O, Kyo N, *et al.*: Cerebral Aneurysm Evaluation with Three - dimensional CT Angiography AJNR Am J Neuroradiol, 17, 447-454, 1996
5. Y. K. Kim, S. K. Baek, M. J. Shin, *et al.*: Comparison between CT Angiography and Conventional Angiography in the Diagnosis of Intracranial Aneurysms, The Korean Neurosurgical Society, 25, 10, 1996
6. Napel S, Marks MP, Rubin GD, *et al.*: CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection. Radiology, 185, 607-610, 1992
7. EUR: European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16261, May, 1999
8. Moon Chan Kim: Recent CT imaging technology, Theory and practice. Chung Gu Publisher, 540-558, 2007
9. Y. G. Park, S. E. Jeong: Reduction of CT scan radiation exposure method, J Koran Med assoc, 1262-1268, 2001
10. James D. Eastwood: Correlation of early dynamic CT perfusion imaging with whole-brain MR diffusion and perfusion imaging in acute hemispheric stroke. American Journal of Neuroradiology, 24, 1869-1875, 2003
11. Dong Yoon HA: CT Recent knowledge, Medical Dose.

- Journal of the incheon radiological technologist as-sociation, 61-67, 2010
12. Payne JT: CT radiation dose and image quality. *Radiol Clin North Am*, 43, 953-962, 2005
 13. Kalra MK, Maher MM, Toth TL, *et al.*: Strategies for CT radiation dose optimization. *Radiology*, 230, 619-628, 2004
 14. McCollough CH, Bruesewitz MR, Kofler JM Jr: CT dose reduction and dose management tools: overview of available options. *Radiographics*, 26, 503-512, 2006
 15. Malte L Bahner, Andreas Bengel, *et al.*: Improved Vascular opacification in cerebral computed tomography angiography with 80 kVp. *Radiology*, 40(4), 229-34, 2005
 16. Ying Guo, Dapeng Shi, *et al.*: Clinical Value of Lower Extremity Arterial Imaging Using 80 kVp and Automatic Tube Current Modulation Technique Compared with Traditional 120kVp Scan, Conference: Radiological Society of North America 2013 Scientific Assembly and Annual Meeting, 2013.
 17. Lee CH, Goo JM, Ye HJ, Ye SJ, Park CM, Chun EJ, Im JG: Radiation dose modulation techniques in the multidetector CT from basics to practice. *Radiographics*, 2008, 28, 1451-1459, 2008
 18. Brenner, Hall EJ: Computed tomography, An increasing source of radiation exposure. *N J Med* 357, 2277-2284, 2007

•Abstract

The Evaluation of the Radiation Dose and Image Quality Through the Change of the Tube Voltage in Cerebral CT Angiography

Ji-Won LEE · Kang-Kyo Jung · Pyong-Kon Cho

Radiological Science, Catholic University of Daegu

To image diagnosis in neurovascular diseases using Multi-Detector Computed Tomography(MDCT), injected the same contrast material when inspecting Brain Computed Tomography Angiography(BCTA) to examine radiation dose and Image quality on changing Cerebral Artery CT number by tube voltage.

Executed an examination with same condition[Beam Collimation 128 x 0.6mm, Pitch 0.6, Rotation Time 0.5s, Slice Thickness 5.0mm, Increment 5.0mm, Delay Time 3.0sec, Care Dose 4D(Dimension ; D)] except for tube voltage on 50 call patients for BCTA and divided them into two groups (25 people for a group, group A: 80, group B: 120kVp). From all the acquired images, set a ROI(Region of Interest) on four spots such as left cerebral artery, right cerebral artery, posterior cerebral artery and cerebral parenchyma to compare quantitative evaluation, qualitative evaluation and effective dose after measuring CT number value from Picture Archiving Communications System(PACS).

Evaluating images with CT number acquired from BCTA examination, images with 80 kVp was 18% higher in Signal to Noise Ratio and 19% in Contrast to Noise Ratio than those with 120 kVp. It was seen that expose dose was decreased by over 50% with tube voltage 80 kVp than with 120 kVp.

Group A (25 patients) was examination with tube voltage 80kVp while group B with 120 kVp to examine radiation dose and Image quality. It is considered effective to inspect with lower tube voltage than with conventional high kVp, which can reduce radiation dose without any affect on diagnosis.

Key Words : Brain CT Angiography(BCTA), CT number, Image Quality, Radiation Dose