

Evaluation of Dose Reduction and Maintaining Image Quality according to Exposure Factors of Cone Beam Computed Tomography

Jin-Woo Han

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

Received: August 11, 2020. Revised: August 27, 2020. Accepted: August 31, 2020.

ABSTRACT

This research aims at suggesting exposure condition that shows maintaining the value of the physical image quality factor by decreasing tube voltage and tube current from the standard exposure condition(80 kV, 7 mA) of a CBCT apparatus. To measure the value of the physical image quality factor, modular transfer function(MTF) was analyzed and dose-area product(DAP) was used for the measurement of exposure dose. CBCT images of a Sedentex IQ phantom were obtained under 15 exposure conditions of different combination of tube voltage(80, 78, 76 kV) and tube current(7, 6, 5, 4, 3 mA) and MTF 10 was calculated under each exposure conditions. There were no significant differences in MTF 10 under 80 kV-6 mA, 80 kV-5 mA exposure conditions in comparison with standard exposure condition. Based on the results of this research, 80 kV-5 mA condition are expected to be able to reduce exposure dose with maintaining the value of the physical image quality factor of the standard exposure condition.

Keywords: Cone Beam Computed Tomography, Tube Voltage, Tube Current

I . INTRODUCTION

콘빔전산화단층촬영(CBCT; Cone Beam Computed Tomography)은 1990년대 후반 개발된 이후 매복치, 치주 및 치근단 병소, 부정교합, 구강악안면 경조직 병소의 진단과 임플란트 치료 계획 및 평가, 악교정 수술 치료 계획 및 평가 등 치과임상에서 유용한 진단영상 도구로 이용되고 있으며 그에 따라 장비의 보급률과 검사 건수도 증가하고 있다.^[1-3] 연조직 대조도가 낮다는 한계가 있으나 영상을 구성하는 체적소가 작은 편으로 치아나 경조직의 평가에 있어 높은 공간해상도의 영상을 제공할 수 있으며 관심영역에 대한 3차원 영상 및 단층영상을 제공하여 진단학적 가치가 높다는 면이 CBCT의 장점으로 알려져 있다.^[4,5]

선행된 연구들을 통해 전산화단층촬영(CT; computed tomography)에 비해서는 낮은 편이지만 보편적으로

치과 진료실에서 이루어지는 구내, 구외, 파노라마 방사선촬영과 비교하면 CBCT의 환자에 대한 방사선 노출량은 높은 편이며 제조사와 기종에 따라 다양한 선량을 보이는 것으로 보고되었다.^[6] 일반적으로 CBCT는 동일한 장비에 있어서도 진단 목적에 따라 차별화된 조건 및 서로 다른 체적소와 조사범위의 크기(FOV; field of view)로 촬영 가능하며 이 경우 화질과 선량은 조건에 따라 차이를 보이는 것으로 알려져 있다.^[3,5] 장비의 운용 시 적용되는 관전압, 관전류, 노출시간, 여과, FOV 등의 노출 조건은 화질 또는 선량에서 동시에 영향을 미치는 요인으로 보고되어 있는데 관전압과 관전류는 진료실에서 비교적 쉽게 조절될 수 있는 노출 조건으로 간주되고 있다.^[7]

CBCT의 화질을 평가하는 데 있어 Safety and Efficacy of a New and Emerging Dental X-ray Modality (SedentexCT) 프로젝트를 통해 개발된 정도 관리

* Corresponding Author: Jin-Woo Han

E-mail: hanjw@gwnu.ac.kr

Tel: +82-33-640-2757

팬텀^[8]은 객관적이고 정량화된 화질 평가에 적합한 도구 중 하나로 알려져 있으며 선행된 연구들을 통해 CBCT를 위한 표준화된 팬텀으로 유용성이 보고되었다.^[7,9] CBCT의 선량을 평가하기 위해서는 인체 해부학적 구조와 장기를 재현하는 Rando 팬텀에 열발광선량계(TLD; thermoluminescent dosimeter)를 위치시켜 유효선량을 측정하는 방법과 장치에서 발생하는 방사선의 양을 단위면적 당 흡수선량으로 표시하는 선량-면적 곱(DAP; dose-area product)을 측정하는 방법 등이 유용한 측정법으로 알려져 있다. 유효선량 측정법은 방사선 검사에 따른 인체와 장기에 미치는 생물학적 영향과 발암의 위험도를 비교 평가하는데 유용하다는 면에서 가치를 보이지만 임상에서 적용되고 있는 CBCT 장비의 다양성과 장치별 특성으로 이를 통합하여 비교하기에는 어려움이 있는 것으로 알려져 있다.^[3] 상대적으로 DAP 측정법은 기존의 방사선 검사의 선량 측정법 및 진단참고수준 설정을 위해 이용되고 있으며 실제 진료실 환경에서 환자에게 조사되는 선량 값을 비교함에 있어 유효선량 측정법의 제약을 극복한 방법으로 권고되고 있다.^[1,3,10]

본 연구에서는 CBCT 장비의 제조사 권장 노출 조건을 순차적으로 낮춘 상황 하에 DAP를 측정하고 정도 관리 팬텀에서 물리적 화질 요소값을 구해 환자에 대한 노출량을 낮추면서 물리적 화질 요소값을 유지할 수 있는 노출 조건을 도출하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

본 연구에는 한 대의 Alphard VEGA CBCT 촬영기(Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Kyoto, Japan)를 이용하였다. 검출기는 비정질 실리콘 평판검출기(amorphous silicon flat panel)였으며 촬영 가능한 FOV 중 panoramic mode(P mode, FOV 154 mm × 154 mm)를 이용하였다. 촬영기의 제조사를 통해 얻어진 권장 노출에 따른 기술적 규격과 값은 Table 1과 같이 이용하였다.

1. 노출 조건 설정

P mode 촬영 시 제조사 권장 관전압과 관전류인 80 kV 와 7 mA를 기준으로 관전압을 3단계(80, 78,

76 kV), 각 관전압에 대해 관전류를 5단계(7, 6, 5, 4, 3 mA)로 설정하여 총 15가지 조합의 조건으로 촬영하였다. 관전압과 관전류 설정을 제외한 기술적 규격은 제조사 권장 값을 이용하였다.

Table 1. Specifications of CBCT in this study. The values are supplied by the manufacturer

Parameters	Value
Degree of Rotation	360°
Total Filtration	2.8 mm Al equivalent
Focus-Collimator Distance	76 mm
Mode	P mode
Imaging Area (FOV, Ø x H)	154 × 154 mm
Dimensions of Collimator (W x H)	19.5 × 21.2 mm
Focus-Rotation Center Distance	650 mm
Voxel	0.3 × 0.3 × 0.3 mm
Exposure Factors	80 kV, 7 mA, 17 s

2. DAP 측정

상기한 관전압과 관전류 조합에서 이온 챔버를 부착한 DAP meter(DIAMENTOR M4-MDK, PTW, Freiburg, Germany)를 사용하여 DAP를 측정하였다. 촬영 전 CBCT 관두부에 제조사에서 제공한 템플릿을 부착하여 초점 및 시준 부위를 파악하였고 이 부위에 이온 챔버의 중앙을 Fig. 1과 같이 위치시켰다. 초점에서 이온 챔버의 중앙까지의 거리는 114 mm로 측정되었으며 이를 DAP meter에 입력하고 온도와 기압에 따른 보정표를 이용하여 값을 보정하였으며 3회 반복 측정하여 평균값을 얻었다.



Fig. 1. Ionization chamber of DAP meter is located at the tube side of CBCT scanner for the DAP measurement.

3. 표준화 팬텀 영상 획득

상기한 관전압과 관전류 조합에서 Sedentex CT IQ 팬텀 (SedentexCT IQ, Leeds Test Objects Ltd., Boroughbridge, UK)을 Fig. 2와 같이 촬영하여 영상을 획득하였다. polymethyl-methacrylate(PMMA)로 제작된 팬텀은 직경 160 mm, 높이 162 mm의 원통형 기둥 형태이며 내부에 직경 35 mm, 높이 20 mm의 소형 팬텀 42개가 위치하였다. P mode의 FOV는 SedentexCT IQ 팬텀에 비해 직경과 높이가 작은 편이지만 소형 팬텀이 모두 영상에 포함되도록 촬영시 SedentexCT IQ 팬텀의 위치를 조정하였다.



Fig. 2. SedentexCT IQ phantom is positioned for CBCT taking.

4. 물리적 화질 요소 측정

각 조건에서 획득한 영상은 디지털 표준의료영상(DICOM; digital imaging and communications in medicine) 형식으로 저장하였으며 물리적 화질 요소로는 변조전달함수(MTF; modulation transfer function)를 공간해상도의 평가에 이용하였다. 점확산함수(PSF; point spread function) 소형 팬텀을 이용해 MTF 값을 계산했으며 MTF 값이 0.1이 되는 MTF 10을 영상의 해상도로 간주하였다. MTF 10은 MTF 곡선에서 MTF 0.1과 곡선이 교차하는 곳의 공간주파수 값으로 그 시스템의 최대 공간주파수의 지표로 알려져 있으며 이 값이 클수록 분해능이 높게 된다. PSF 소형 팬텀은 SedentexCT IQ 팬텀 내부에 위치하며 0.25 mm의 스테인리스 스틸 강선이 중앙에 식립된 형태로 축상면 영상에서 강선을 중심으로 여러 방향의 MTF 측정에 유용하다. 디지털 신호의 분석을 위해 Eq. (1)과 같은 수식의 이산

푸리에 변환을 사용하였으며 N은 PSF 샘플링에서 얻은 픽셀의 개수를 의미한다.

$$MTF(k) = \sum_{n=0}^{N-1} PSF(X_n) \cdot e^{-2\pi i k n / N} \quad (1)$$

촬영된 DICOM 형식의 파일을 MATLAB 프로그램(R2016b, Mathworks Inc., Natick, MA, USA)으로 불러들여 PSF 소형 팬텀이 촬영된 축상면 영상 중앙·하 방향으로 중앙에 위치한 영상을 대상으로 하였다. 관심영역 설정을 위해 MATLAB 프로그램 상에서 강선이 9개의 픽셀 이내에서 확인되도록 대조도, 색조폭(window width), 색조준위(window level)를 조절하였고 영상을 확대하여 Fig. 3과 같이 가장 밝은 픽셀을 중심으로 선택하였다. 3개의 계측선을 부여한 oversampling 기법을 사용하면서 Fig. 4와 같이 수직, 수평 및 양측 대각선으로 총 4방향에서 MTF 10이 자동으로 계산되어 평균값이 영상의 공간해상도로 기록되었다. 상기의 과정을 5회 반복하여 평균과 표준편차를 계산하였다.

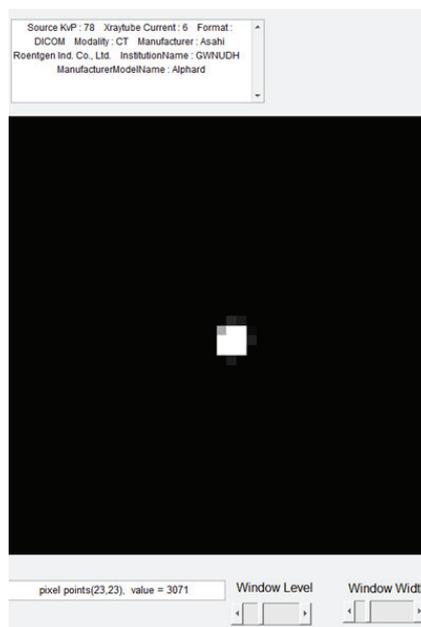


Fig. 3. The steps of magnification and image adjustment were performed for a setting of a wire center from the PSF phantom image.

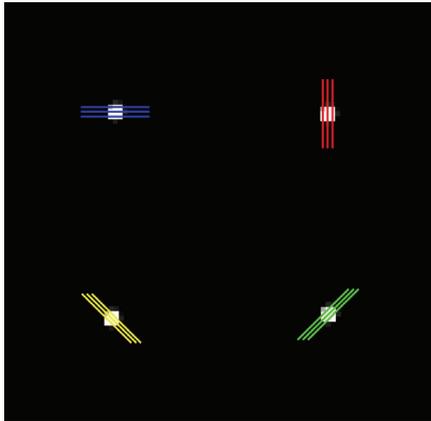


Fig. 4. The steps of automated calculation was performed on the center of the PSF phantom image with 3 oversampling lines of the MTF value in four directions.

5. 통계분석

기준이 되는 80 kV, 7 mA 및 각 관전압과 관전류 조합의 MTF 10 평균을 비교하기 위해 범용적인 통계 프로그램 IBM SPSS(version 25, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였다. Mann-Whitney 검정을 사용하였고 비모수 방법을 통해 유의확률을 계산하여 차이 여부를 결정하였다. $p < 0.05$ 로 설정하여 통계적 유의성을 검정하였다.

III. RESULT

각 관전압과 관전류 조합에서 측정된 DAP는 Table 2와 같다.

CBCT 장비의 P mode(FOV 154 mm× 154 mm)에서 측정된 MTF 10은 각 관전압과 관전류 조합에서 Table 3 및 Fig. 5와 같이 관찰되었다.

Mann-Whitney 검정을 통한 MTF 10의 비교 분석 결과, 기준이 되는 제조사 권장 관전압과 관전류인 80 kV 와 7 mA에서 MTF 10의 평균은 1.157 lp/mm로 나타났고 80 kV 와 6 mA, 80 kV 와 5 mA에서 각각 1.127 lp/mm, 1.100 lp/mm로 측정되었다. 이는 제조사 권장 노출 조건에서의 MTF 10과 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 반면 80 kV와 4 mA 이하의 조건 및 78 kV 와 76 kV에서 각 관전류를 조합시킨 조건들에서는 MTF 10 평균이 기준이 되

는 제조사 권장 노출 조건에서의 MTF 10 평균에 비해 유의하게 작은 것으로 분석되었다($p < 0.05$).

Table. 2. DAP according to simulated conditions of kV and mA

kV	mA	DAP (cGycm ²)	
80	7	329.52	(±1.740)
	6	283.71	(±1.925)
	5	237.37	(±1.981)
	4	189.06	(±1.145)
	3	141.63	(±2.816)
78	7	311.66	(±1.703)
	6	267.27	(±2.406)
	5	223.00	(±1.456)
	4	179.11	(±0.937)
	3	133.11	(±1.281)
76	7	294.48	(±1.711)
	6	253.81	(±1.168)
	5	209.89	(±1.075)
	4	167.70	(±1.458)
	3	126.23	(±2.609)

기준이 되는 제조사 권장 노출 조건과 비교 시 80 kV와 5 mA 조건에서는 DAP를 약 72% 수준까지 감소시키면서 공간해상도를 유지할 수 있을 것으로 결론 내렸다.

Table. 3. MTF 10 according to simulated conditions of kV and mA

kV	mA	MTF 10 (lp/mm)	
80	7	1.157	(±0.018)
	6	1.127	(±0.028)
	5	1.100	(±0.043)
	4	0.826	(±0.051)*
	3	0.556	(±0.014)*
78	7	0.970	(±0.024)*
	6	0.933	(±0.036)*
	5	0.848	(±0.030)*
	4	0.553	(±0.033)*
	3	0.435	(±0.026)*
76	7	0.817	(±0.042)*
	6	0.750	(±0.030)*
	5	0.637	(±0.048)*
	4	0.452	(±0.020)*
	3	0.330	(±0.021)*

*Statistical analysis using Mann-Whitney test, * $p < 0.05$

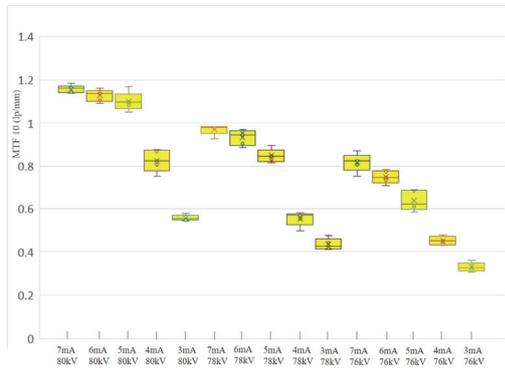


Fig. 5. MTF 10(lp/mm) values of each simulated conditions of kV and mA.

IV. DISCUSSION

공간해상도는 영상에서 서로 다른 두 물체를 구별할 수 있는 공간상의 분해능을 뜻하며 단위 길이에서 구분될 수 있는 선쌍의 수를 나타내는 line pairs/mm 단위가 주로 사용된다.^[11] CBCT의 공간해상도 평가법 중 MTF 측정법은 전통적인 연선패턴을 이용하는 방법, 선확산함수(LSF; line spread function)를 이용하는 방법 등에 비해 정도관리에 있어서 유용성이 보고된 바 있다.^[7,9,12] 또한 SedentexCT 프로젝트를 통해 개발된 정도 관리 팬텀을 이용한 MTF 측정법은 화질평가 시 주관성을 배제할 수 있어 공간해상도 평가 팬텀으로 추천되고 있다.^[7,9,13,14]

CBCT의 화질평가에 있어 공간해상도를 포함한 여러 물리적 화질 요소는 노출 조건과 장비에 따른 체적소의 크기 등 촬영요인에 더해 계측에 사용되는 팬텀의 종류와 방법, oversampling 등 계측 요인에 따라서도 영향을 받는다고 보고되어 있다.^[7,9,11-17] Lofthag-Hanse 등은 CBCT의 관전압과 관전류를 기준값보다 낮추어 촬영한 연구를 통해 60~80 kV 범위에서 관전압이 높아질수록 화질면에서 유리하다고 보고하였으나 물리적 화질 요소에 대한 분석은 이루어지지 않았다.^[16] Choi 등은 선행 연구에서 물리적 화질 요소와 주관적 화질분석의 관계를 살펴보았으며 본 연구와 같은 CBCT 장비 및 P mode에 대해 MTF 10을 측정하였다. 그 연구를 통해 관전압 75~85 kV를 질환 분석에 적절한 범위로 보고하였다.^[7] 그러나 이는 주관적 화질분석을 기반으로 한 분류에서 MTF의 비교이므로 직

접적인 비교는 어려울 것으로 생각된다.

치과방사선검사에 의한 피폭선량은 다른 진단용 의료방사선검사에 비해 현저히 낮기는 하지만 촬영 빈도가 높은 편이며 CBCT의 사용도 지속적으로 확대되고 있다.^[1] 피폭선량에 있어 CBCT는 장비나 진단 목적에 따라 상당한 다양성을 보이는 것으로 알려져 있다. 방사선방어에 있어 방어 최적화의 원칙은 ALARA(as low as reasonably achievable) 원리에 입각하여 경제적, 사회적 인자를 고려하여 개인 선량 크기가 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지되어야 함을 의미한다. 이에 노출 조건을 변화 시키면서 진단이 가능한 영상의 질을 유지하면서 선량을 낮출 수 있는 노출 조건을 확립하는 것은 중요한 방어 전략 중 하나라 할 수 있겠다.

본 연구는 CBCT 노출 조건인 관전압과 관전류를 권장 조건에 비해 낮춘 상황들을 인위적으로 구현하고 정도 관리 팬텀을 이용해 물리적 화질 요소인 공간해상도를 획득하여 비교, 분석하였으며 물리적 화질 요소값인 공간해상도를 유지한 상황에서 상대적으로 낮은 노출 조건과 선량을 도출하였다. 본 연구의 제한점은 CBCT의 영상의 질을 좌우하는 물리적 화질 요소로 균일도, 대조도 대 잡음비(CNR; contrast to noise ratio) 등의 다양한 요소에 대한 고려를 하지 않은 점과 선량과 화질을 좌우하는 여러 요인들 중 관전압과 관전류만을 대상으로 삼은 점이다. 이에 다양한 노출 조건과 물리적 화질 요소에 대한 분석 및 비교를 통한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

CBCT 노출 조건인 관전압과 관전류를 권장 조건에 비해 낮춘 상황들을 인위적으로 구현하고 공간해상도 및 선량-면적 곱을 획득하였다. 본 연구에서 이용한 CBCT 장비의 노출 조건을 기준이 되는 관전압과 관전류인 80 kV 와 7 mA에서 80 kV 와 5 mA로 낮춘 경우 물리적 화질 요소인 공간해상도의 유의한 차이 없이 선량-면적 곱을 약 72% 수준까지 감소시킬 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 2016년도 강릉원주대학교치과병원 장기해외파견 연구지원에 의하여 수행되었다.

Reference

- [1] Korea Centers for Disease Control and Prevention, Diagnostic Reference Level guideline – Dental Radiography, 2019.
- [2] Y. Arai, E. Tammissalo, K. Iwai, K. Hashimoto, K. Shinoda, "Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use", *Dentomaxillofacial Radiology*, Vol. 28, No. 4, pp. 245-248, 1999. <https://doi.org/10.1038/sj/dmfr/4600448>
- [3] Y. S. Choi, G. T. Kim, E. H. Hwang, "Radiation Doses and Quality Assurance in Cone Beam CT(CBCT)", *The Journal of the Korean Dental Association*, Vol. 52, No. 3, pp. 153-163, 2014.
- [4] C. M. Ziegler, R. Woertche, J. Brief, S. Hassfeld, "Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery", *Dentomaxillofacial Radiology*, Vol. 31, No. 2, pp. 126-130, 2002. <https://doi.org/10.1038/sj/dmfr/4600680>
- [5] C. H. An, "How to Choose and Use the CBCT", *The Journal of The Korean Dental Association*, Vol. 52, No. 3, pp. 132-138, 2014.
- [6] M. Naitoh, A. Katsumata, Y. Kubota, E. Ariji, "Assessment of Three-dimensional X-ray Images: Reconstruction From Conventional Tomograms, Compact Computerized Tomography Images, and Multislice Helical Computerized Tomography Images", *Journal of Oral Implantology*, Vol. 31, No. 5, pp. 324-341, 2005. [http://dx.doi.org/10.1563/1548-1336\(2005\)31\[234:AOTXIR\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1563/1548-1336(2005)31[234:AOTXIR]2.0.CO;2)
- [7] J. W. Choi, S. S. Lee, S. C. Choi, M. S. Heo, K. H. Huh, W. J. Yi, S. R. Kang, D. H. Han, E. K. Kim, "Relationship between physical factors and subjective image quality of cone-beam computed tomography images according to diagnostic task", *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, Vol. 119, No. 3, pp. 357-365, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oooo.2014.11.010>
- [8] http://www.sedentext.eu/files/radiation_protection_172.pdf
- [9] J. W. Choi, "Factors affecting modulation transfer function measurements in cone-beam computed tomographic images", *Imaging Science in Dentistry*, Vol. 49, No. 2, pp. 131-137, 2019. <http://dx.doi.org/10.5624/isd.2019.49.2.131>
- [10] D. S. Kim, O. Rashsuren, E. K. Kim, "Conversion coefficients for the estimation of effective dose in cone-beam CT", *Imaging Science in Dentistry*, Vol. 44, No. 1, pp. 21-29, 2014. <http://dx.doi.org/10.5624/isd.2014.44.1.21>
- [11] R. Pauwels, J. Beinsberger, H. Stamatakis, K. Tsiklakis, A. Walker, H. Bosmans, R. Bogaerts, R. Jacobs, K. Horner, "Comparison of spatial and contrast resolution for cone-beam computed tomography scanners", *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, Vol. 114, No. 1, pp. 114-135, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oooo.2012.01.020>
- [12] S. Nakahara, M. Tachibana, Y. Watanabe, "One-year analysis of Elekta CBCT image quality using NPS and MTF", *Journal of Applied Clinical Medical Physics* Vol. 17, No. 3, pp. 211-222, 2016. <http://dx.doi.org/10.1120/jacmp.v17i3.6047>
- [13] Y. Ozaki, H. Watanabe, Y. Nomura, E. Honda, Y. Sumi, T. Kurabayashi, "Location dependency of the spatial resolution of cone beam computed tomography for dental use", *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, Vol. 116, No. 5, pp. 648-655, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oooo.2013.07.009>
- [14] S. M. Elkhateeb, G. R. Torgersen, E. A. Arnout, "Image quality assessment of clinically-applied CBCT protocols using a QAT phantom", *Dentomaxillofacial Radiology*, Vol. 45, No. 5, 2016. <http://dx.doi.org/10.1259/dmfr.20160075>
- [15] A. Suomalainen, T. Kiljunen, Y. Käser, J. Peltola, M. Kortensniemi, "Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners", *Dentomaxillofacial Radiology*, Vol. 38, No. 6, pp. 367-378, 2009. <http://dx.doi.org/10.1259/dmfr/15779208>
- [16] S. Lofthag-Hansen, A. Thilander-Klang, K. Gröndahl,

"Evaluation of subjective image quality in relation to diagnostic task for cone beam computed tomography with different fields of view", *European Journal of Radiology*, Vol. 80, No. 2, pp. 483-488, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.09.018>

- [17] H. N. Park, C. K. Min, K. A. Kim, K. J. Ko, "Optimization of exposure parameters and relationship between subjective and technical image quality in cone-beam computed tomography", *Imaging Science in Dentistry*, Vol. 49, No. 2, pp. 139-151, 2019. <http://dx.doi.org/10.5624/isd.2019.49.2.139>

콘빔전산화단층촬영에서 노출 조건에 따른 화질 유지 및 선량 감소에 대한 평가

한진우

강릉원주대학교 치과대학 치의학과 영상치의학교실

요 약

본 연구는 CBCT 장비의 표준 노출 조건(80 kV, 7 mA)을 기준으로 관전압과 관전류를 낮추어 촬영하면서 표준 노출 조건의 물리적 화질 요소값을 유지할 수 있는 노출 조건의 제시를 목표로 두고자한다. 영상의 물리적 화질 요소값의 측정을 위해 변조전달함수(MTF)가 분석되었고 선량 측정을 위해 선량-면적 곱(DAP)을 이용하였다. 관전압(80, 78, 76 kV)과 관전류(7, 6, 5, 4, 3 mA)의 15가지 조합의 노출 조건에서 Sedentex IQ 팬텀 (Leeds Test Objects Ltd., Boroughbridge, UK)의 CBCT 영상을 얻었고 MTF 10이 각 조건에서 계산되었다. 표준 노출 조건과 비교시 80 kV-6 mA, 80 kV-5 mA 노출 조건은 MTF 10에 있어 유의한 차이를 보이지 않았기에 본 연구에서 사용된 CBCT 장비의 경우, 80 kV-5 mA로 낮춘 노출 조건에서 물리적 화질 요소값을 유지하면서 선량을 감소시킬 수 있는 것으로 판단되어진다.

중심단어: 콘빔전산화단층촬영, 관전압, 관전류

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	한진우	강릉원주대학교 치과대학 치의학과 영상치의학교실	부교수