

CBCT-재구성 파노라마영상의 근원심 치축에 관한 연구

송인태^a · 조진형^b · 채종문^c · 장나영^d

본 연구에서는 cone beam computed tomography (CBCT)를 이용한 삼차원 영상을 기준으로 CBCT-재구성 파노라마영상 형성 시의 신뢰성을 입증하고 CBCT 삼차원 영상과 비교하여 실제 근원심 치축을 가장 잘 나타낼 수 있는 이차원 파노라마영상을 찾고자 하였다. 연구 모형은 두부계측방사선사진의 평균치에 따라 제작되었고 CBCT와 파노라마방사선영상 촬영을 위해 촬영 시마다 연구 모형이 반복적으로 재위치되었다. 파노라마방사선영상은 -5° , 0° , $+5^{\circ}$ 로 연구 모형의 교합평면을 변화시키면서 촬영되었다. 이후 CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상 및 파노라마방사선영상에서 측정된 계측값을 평가하였다. CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상의 전치 및 견치부에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내지 않았으나 대부분의 소구치부에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다. 그리고 CBCT-재구성 파노라마영상과 파노라마방사선영상은 대부분의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다. CBCT-재구성 파노라마영상이 근원심 치축 평가 시 임상적으로 사용 가능함을 보여주었다. (대치교정지 2011;41(4):255-267)

주요 단어: Cone beam computed tomography (CBCT), CBCT-재구성 파노라마영상, 근원심 치축

서론

교정치료에서 안정적인 결과를 얻기 위해서는 정확한 교합관계를 가질 수 있도록 삼차원 평면에서 치아가 적절하게 위치되는 것이 필요하다.¹ 교정치료 전과 교정치료 중, 치료 종료 후에 교정의는 근원심 치축 경사를 평가하기 위하여 파노라마방사선영상을 촬영한다. 이때 치축이 적절한 경사를 가진다면 인접치 사이에 충분한 공간이 존재하게 된다.² 또한 교정치료 후에 적절한 교합을 이루었을 때 파노라마방사선영상에서 적절한 치축 평행도를 가진다. 치축 평행도는 교합력의 분산에 중요한 요소이고 교정적으로 발치 공간을 폐쇄한 경우에 인접치

치축이 평행하지 않으면 다시 벌어질 위험이 더 커지게 된다.^{3,6}

미국 교정과 의사를 대상으로 한 2002년 조사에 따르면 응답자 중 57.9%가 치료 중에, 79.1%가 치료 후에 파노라마방사선영상을 촬영한다고 하였다.⁷ 또한 현재 American Board of Orthodontics 시험에서 평가 방법인 objective grading system에서도 근원심 치축 경사를 평가하기 위해 파노라마방사선영상을 이용하고 있다.⁸ 이렇듯 파노라마방사선영상은 근원심 치축 경사를 평가하기 위해 교정과 의사가 손쉽게 접할 수 있는 진단학적 도구이다.

그러나 파노라마방사선영상에서 삼차원 물체를 이차원 영상으로 나타낼 때 왜곡이 발생한다.⁹ 파노라마방사선기구는 구강 및 주위 조직을 하나의 연속된 영상으로 형성하기 위해 다른 방사선사진과는 달리 필름과 X선이 회전 운동한다는 특징이 있으며 이로 인해 상의 왜곡과 확대, 구조물의 중첩 및 허상 등에 의해서 주요 해부학적 구조물들의 정확한 크기와 위치를 평가하기 어렵다는 단점이 있다.¹⁰⁻¹² 그리고 파노라마방사선영상의 근원심 치축 경사에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 교합평면의 경사, 협설 치축 경사 등이 있다.¹³⁻¹⁸ 이렇듯 파노라마방사선

^a대학원생, ^b부교수, 원광대학교 치과대학 산부치과병원 교정과.

^c부교수, ^d조교수, 원광대학교 치과대학 대전치과병원 교정과.

교신저자: 조진형.

경기도 군포시 산본동 원광대학교 치과대학 산부치과병원 교정과.
031-390-2896; e-mail, ggarydenti@hanmail.net.

원고접수일: 2010년 9월 17일 / 원고최종수정일: 2011년 5월 23일 /

원고채택일: 2011년 5월 26일.

http://dx.doi.org/10.4041/kjod.2011.41.4.255

*이 논문은 2010학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

영상은 널리 사용되고 있는 반면에 많은 요소들에 의해서 이미지 왜곡이 발생할 수 있으므로 이것에 대한 이해와 동시에 다른 대체 영상의 필요성이 증가하고 있다.

최근 진단 시에 cone beam computed tomography (CBCT) 삼차원 영상이 많이 이용되고 있다. 실제로 CBCT 삼차원 영상은 교정의에게 두개안면 구조에 대한 더 많은 정보를 제공할 수 있고 삼차원으로 재구성되어 더욱 실제적인 시각화가 가능하게 되었다. 파노라마방사선영상과는 달리 CBCT 삼차원 영상에서의 계측치는 환자의 두부 위치에 영향을 받지 않을뿐더러 크기의 확대에 의한 왜곡이 없고 치축의 협설 경사와 근원심 경사를 모두 나타낼 수 있어 실측치로 간주할 수 있다.^{19,21} 그리고 Van Elslande 등²²은 연구 모형에서 치아의 근원심 치근 경사와 CBCT 데이터로부터 재구성된 파노라마영상(CBCT-재구성 파노라마영상)의 근원심 치근 경사를 비교하였으며 CBCT-재구성 파노라마영상의 근원심 치근 경사가 치아의 근원심 치근 경사와 가까웠다고 보고하였다.

일반적으로 임상 의들에게 이차원 영상이 익숙하고 CBCT 삼차원 영상에서 직접적으로 근원심 치축 경사의 계측이 쉽지 않으므로 CBCT 영상 데이터로부터 재구성된 파노라마영상의 활용이 유용할 것으로 보이나 이에 대한 연구가 많지 않았다. 이에 본 연구는 CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상 및 교합평면의 전후방적인 기울기 변화에 따른 파노라마방사선영상 각각에서의 근원심 치축 경사 계측값을 비교 분석하였고 실제 근원심 치축 경사를 가장 잘 나타낼 수 있는 이차원 파노라마영상에 대해 알아보았다.

연구방법

연구 모형 제작

본 연구를 위한 연구 모형은 Mckee 등^{15,23}에 의해 사용된 방법을 응용하여 연구 상황에 맞게 수정하여 제작하였다.

치아 모형 디자인은 교정실습용 치아 모형(B5-IQ.4 (28S), Nissin dental products, Kyoto, Japan)에 직경 1.5 mm 크기의 chromium steel ball (금속 구슬) (Commercial bearing, Seomoon, Seoul, Korea)을 각 치아에 두 개씩 부착하였다. 교합면-절단면 금속 구슬은 교합면(절단면)의 협설과 근원심의 중간에, 치

근단 금속 구슬은 치근단 중앙 부위에 부착하였고 다근치에서는 치근 분지부 중앙에 치근단 금속 구슬을 부착하였다. 이 금속 구슬은 방사선 불투과성 마커로 나타나고 근원심 치축 경사를 알아보기 위한 랜드마크가 되었다.

I급 부정교합 왁스 폼(DN3-TRM.283 (Class I), Nissin dental products, Kyoto, Japan)에 레진 치아를 식립하였다. CBCT 및 방사선 촬영 시 번짐현상(blurring)을 방지하기 위해 0.022인치 슬롯 레진 브라켓(OrthoFlex, Orthotechnology, Tampa, FL, USA)을 각 치아별로 이상적인 위치에 부착하였고 금속 튜브가 부착되는 제1대구치와 제2대구치는 계측에서 제외되었다.

각 치아 모형은 편평한 019 × 025 강철 호선(Stainless Steel Trueform I, G & H wire company, Hanover, Hamburg, Germany)에 탄성 결찰재로 결찰되었고 I급 구치와 견치관계, 2 mm의 수직, 수평피개를 이루었다.

두개골의 정확한 포지셔닝을 위해 정상 골격 유형을 가진 성인 두개골 모형(3-part standard version A20, 3B scientific GmbH, Hamburg, Germany)에서 nasion, A점, pogonion, 좌우측의 해부학적 porion 및 orbitale에 금속 구슬을 부착하였다. 그 후 두개골 모형에서 기존 상하악 치열을 제거하였고 동일한 위치에 다음과 같이 치아 모형을 위치시켰다. 1. 수평적인 면에서 치열 정중선은 두개골의 정중선과 일치한다. 2. 전후방적인 면에서 nasion을 지나면서 Frankfort horizontal plane (PoOr)에 수직인 선과 상악 전치부 순면과의 거리는 5 mm이다. 3. 수직적인 면에서 상악 중절치 절단면과 nasion의 거리는 76 mm이고 Frankfort horizontal plane에 비해 교합평면이 9도 경사되어 있다.²⁴ 측면 두부계측방사선사진과 정면 두부계측방사선사진에서 위치를 확인한 후에 치아 모형은 분홍색 베이스 플레이트 왁스를 이용하여 기존 치열이 제거된 두개골 모형의 기저골에 단단히 고정하였다.

방사선 촬영 시에 상악과 하악 치아의 교합면-절단면 금속 구슬이 겹치는 것을 방지하기 위해 교합 인기재(BluMousse, Dentsply, York, PA, USA)를 이용하여 교합관계를 변화시키지 않으면서 상하악 치아를 1 mm씩 균일하게 분리하였다.

두개골 모형의 교합평면 변화를 위한 경사판을 제작하였고 전후방축과 수직축에 대한 기울임이나 회전 없이 두개골 모형을 전후방으로만 경사질 수 있도록 경사판에 고정하였다. 경사조절용 받침 블

록을 만들어 블록의 개수와 블록 위치에 따라서 두 개골 모형이 고개를 들거나 숙인 경우를 재현할 수 있도록 하였다 (Fig 1).

CBCT 촬영 및 삼차원 영상

CBCT 촬영을 위해 연구 모형을 CBCT 촬영 장치 (iCAT, Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA)에 위치시키고 120 Kvp, 18.45 mA, 촬영 시간

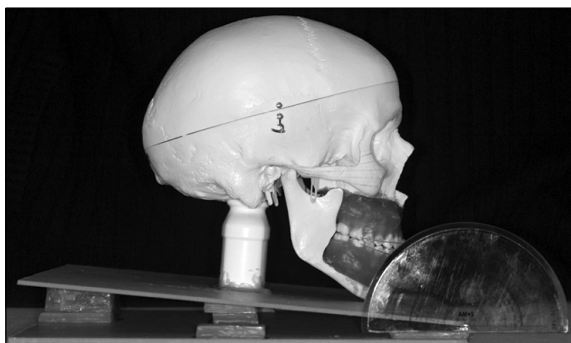


Fig 1. Test model design.

20 Sec, pixel size 0.30 mm, field of view 6 cm의 조건하에서 CBCT를 촬영하였고 이렇게 획득된 데이터는 DICOM 파일로 저장하였다. CBCT를 통해 획득된 DICOM 파일은 삼차원 영상 프로그램(CT viewer, Orapix, Seoul, Korea)을 이용하여 다면영상 (multiplanar reformatting, MPR)과 surface rendering을 통해서 삼차원 영상을 재구성하였다. 한 명의 술자가 매일 반복적으로 연구 모형을 위치시켜 30번 촬영하였으며 30개의 DICOM 파일 및 삼차원 영상을 얻었다.

CBCT 영상 데이터로부터 파노라마영상 재구성

CBCT 촬영으로 얻은 DICOM 파일을 컴퓨터로 옮긴 후 삼차원 영상 프로그램(OnDemand3D™ Application, CyberMed Inc., Seoul, Korea)을 이용하여 파노라마방사선영상과 같은 형태의 CBCT-재구성 파노라마영상을 형성하였다.

CBCT-재구성 파노라마영상을 형성하는 방법은 OnDemand3D™에서 axis & reslice 기능을 이용하여 연구 모형의 Frankfort horizontal plane과 지면이 평

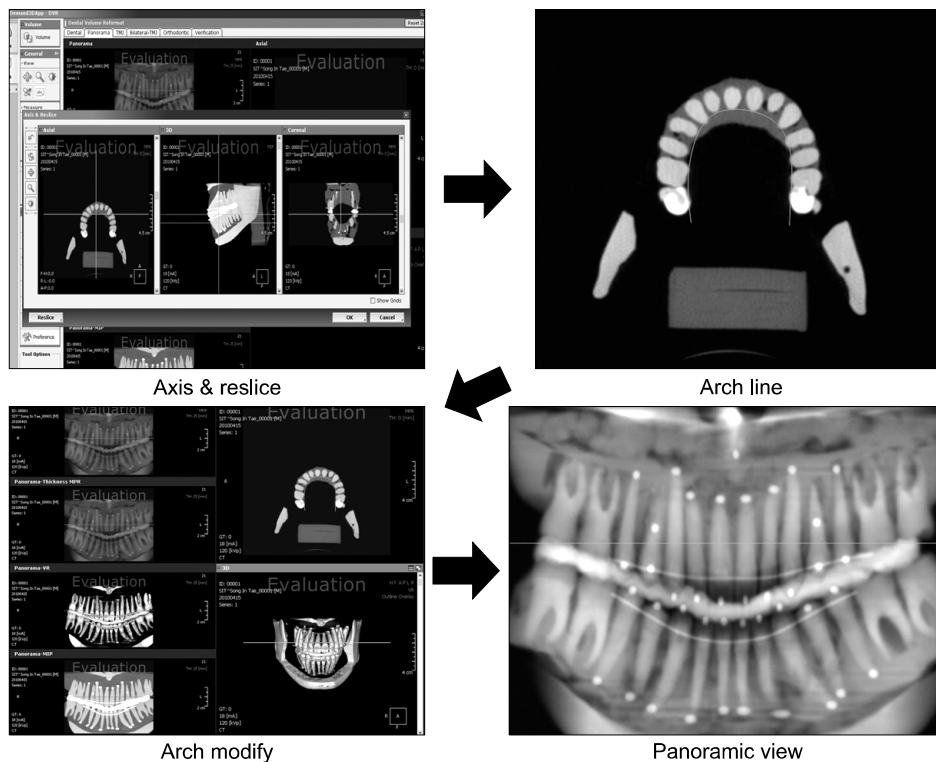


Fig 2. Generation of panoramic view from CBCT data. CBCT, Cone beam computed tomography.

행하게 위치시켰다. Frankfort horizontal plane은 연구모형 제작 시에 해부학적 porion과 orbitale에 부착한 금속 구슬을 이용하였다. 그 후 axial image에서 치조골 중심을 따라서 arch line을 설정하였다. Arch line 설정은 초점층을 arch curve로 설정하는 것으로 모든 상하악 치아의 치근단에서부터 치관까지 나올 수 있도록 axial image를 위 아래로 움직여 보면서 arch curve를 조정하여 CBCT-재구성 파노라마영상이 파노라마방사선영상의 형태로 보이도록 하였다. 이때 치관과 치근단이 모두 나타날 수 있도록 치관과 치근단의 협설적인 중간지점을 찾는 것이 중요하다. DVR mode에서 panoramic view의 thickness가 커질수록 CBCT-재구성 파노라마영상이 흐려지고 작아질수록 협설적인 초점층의 두께가 작아져서 치관과 치근단이 모두 나타나지 않을 수 있으므로 최종적으로 panoramic view의 thickness를 25 mm로 설정하여 CBCT-재구성 파노라마영상을 완성하였다 (Fig 2).

파노라마방사선영상 촬영

파노라마방사선영상 촬영은 Orthoceph® OC100 D 디지털 파노라마 방사선 촬영 장치(Instrumentarium, Tuusula, Finland)를 이용하였다. 정면에서는 레이저 빔이 정중시상면과 일치되도록 하였고 측면에서는 레이저 빔이 측절치와 견치 사이에 놓이도록 연구모형을 위치시켰다. Frankfort horizontal plane이 지면과 평행한 경우를 0°라고 정의하고 경사판을 이용하여 연구 모형의 교합평면을 -5° (고개를 든 경우), 0°, +5° (고개를 숙인 경우)로 변화시키면서 촬영하였다. 촬영 조건은 7.3 KVp, 6.4 mA, 17.6초로 하였고 이미지는 PACS 프로그램을 이용하여 저장하였다. 한 명의 술자가 매일 반복적으로 각각 30번씩 촬영하여 총 90장의 파노라마방사선영상을 얻었다.

각도 계측

이번 연구에서 사용된 각도 계측을 위해 두 개의 금속 구슬이 이루는 치아 장축과 대상 치아의 좌우 인접면을 지나는 호선이 기준선(reference line)이 되어 치아와 호선이 이루는 원심분절각을 측정하였다. CBCT 삼차원 영상에서의 각도 계측은 금속 구슬을 연결한 벡터와 대상 치아의 좌우 인접면을 지나는 호선상의 두 점을 연결한 벡터 사이의 각을 측

정하였으며 편평한 호선을 사용하여 CBCT 삼차원 영상에서 기준선 설정은 그리 어렵지 않았으나 파노라마방사선영상에서는 특성상 편평한 호선을 사용하여도 기준선이 만곡을 이룰 수 있으며 그럴 경우에는 해당치아 좌우의 인접면을 지나는 호선 상의 지점을 직선으로 연결하여 기준선을 정하였다.

CBCT 삼차원 영상에서의 각도 계측은 삼차원 영상 각도 계측 프로그램(3D Txer, Orapix, Seoul,

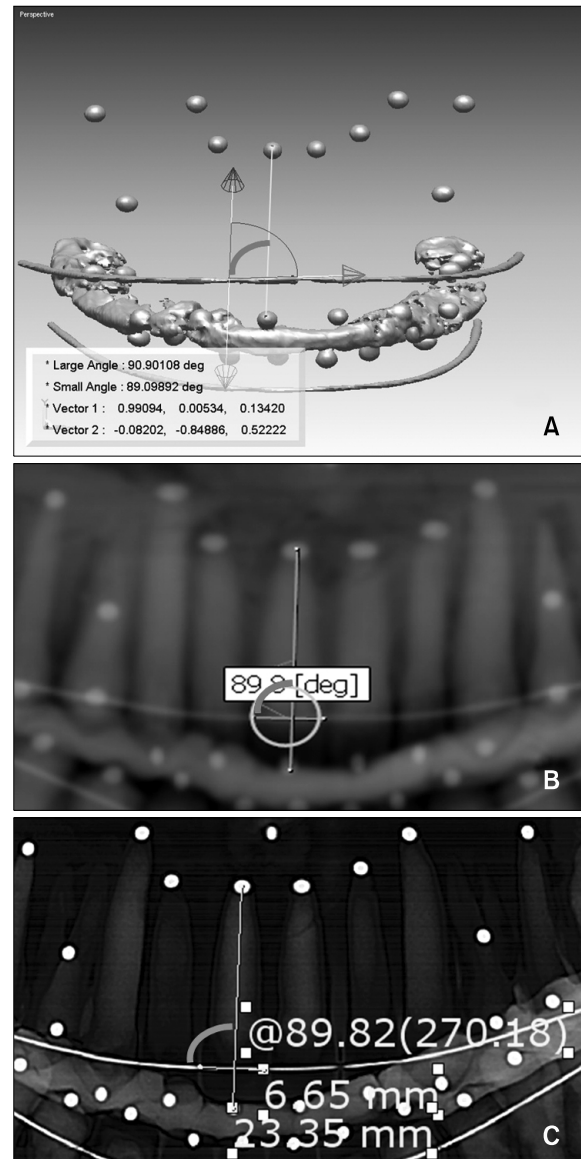


Fig 3. Angular measurement of tooth axis to reference line. A, CBCT 3D image; B, CBCT-generated panoramic view; C, panoramic radiograph. CBCT, Cone beam computed tomography.

Korea)을 이용하였고 CBCT-재구성 파노라마영상에서의 각도 계측은 OnDemand3D™에서 제공되는 각도 계측 도구를, 파노라마방사선영상에서의 각도 계측은 PiView STAR 프로그램(Infinit, Seoul, Korea)을 이용하여 측정하였다 (Fig 3).

통계처리

관찰자 내의 오차를 알아보기 위해 각각 30개의 CBCT 삼차원 영상, CBCT-재구성 파노라마영상, 파노라마방사선영상에서 2주 간격으로 측정한 값으로 paired t test를 실시하였다. 그 결과 CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상, 파노라마방사선영상의 2주 간격으로 측정한 값들 사이에서 유의한 차이가 없었다.

CBCT 삼차원 영상, 파노라마방사선영상과 달리 CBCT-재구성 파노라마영상은 DICOM 파일에서 삼차원 영상 프로그램을 이용하여 술자가 직접 영상을 형성하는 것이므로 방법에 따라서 오차가 발생할 수 있다. 그래서 이에 대한 확인이 필요하였다. CBCT-재구성 파노라마영상 형성의 method error를 알아보기 위해 임의로 선택한 10개의 CBCT 영상 데이터를 이용하여 2주 간격으로 2회의 CBCT-재구성 파노라마영상을 형성한 다음, 각도 계측을 시행 한 후에 그 오차를 Dahlberg식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{Dahlberg formula : ME} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

d=첫 번째 계측과 두 번째 계측의 차

n=계측 횟수

오차는 0.54 - 0.97°로 나타났으며 CBCT-재구성

Table 1. Mesiodistal teeth axes measured on CBCT 3D image, CBCT generated panoramic view, and panoramic radiographs (unit: degree)

Tooth number		#15	#14	#13	#12	#11	#21	#22	#23	#24	#25
CBCT 3D image	Mean	89.46	89.41	85.50	83.59	89.44	85.44	82.54	80.40	84.43	88.50
	SD	0.16	0.22	0.76	0.51	0.44	0.45	0.27	0.38	0.32	0.29
CBCT-generated panoramic view	Mean	86.39	87.41	85.52	83.43	89.58	85.42	82.47	80.38	83.40	88.38
	SD	0.27	0.27	0.26	0.29	0.29	0.26	0.55	0.25	0.28	0.28
Panoramic radiograph (-5°)	Mean	86.96	87.79	92.69	86.57	90.40	89.47	87.05	89.08	83.80	81.90
	SD	1.30	1.20	1.01	1.28	1.19	1.34	1.20	0.65	1.08	1.08
Panoramic radiograph (0°)	Mean	83.89	86.20	91.07	86.24	89.94	89.27	86.92	86.21	80.98	79.61
	SD	0.73	0.96	0.97	0.85	0.98	0.96	0.57	0.75	1.02	0.99
Panoramic radiograph (+5°)	Mean	80.89	82.84	88.55	85.74	90.67	88.14	86.54	83.71	79.39	77.76
	SD	1.04	1.02	0.81	0.97	0.95	0.97	1.01	0.96	1.05	1.17
Tooth number		#45	#44	#43	#42	#41	#31	#32	#33	#34	#35
CBCT 3D image	Mean	87.30	88.57	87.51	89.48	85.43	88.40	85.52	81.50	88.55	83.49
	SD	0.45	0.39	0.61	0.37	0.40	0.44	0.41	0.21	0.27	0.70
CBCT-generated panoramic view	Mean	92.45	92.36	87.47	89.48	85.40	88.53	85.50	81.43	92.36	85.37
	SD	0.22	0.30	0.31	0.27	0.32	0.27	0.29	0.26	0.28	0.27
Panoramic radiograph (-5°)	Mean	79.62	75.60	85.98	89.22	86.81	86.24	81.96	80.91	71.25	71.00
	SD	0.92	1.12	1.16	0.97	1.26	1.28	1.03	1.29	1.31	1.12
Panoramic radiograph (0°)	Mean	79.23	75.12	86.50	89.20	86.17	86.69	81.31	82.83	71.72	71.45
	SD	1.14	1.13	0.88	1.38	1.15	1.58	1.38	1.01	0.91	0.72
Panoramic radiograph (+5°)	Mean	79.57	75.07	86.34	88.69	86.61	87.89	82.41	83.30	72.37	72.86
	SD	1.21	1.01	1.60	1.12	1.20	1.58	1.10	1.33	1.62	1.16

CBCT, Cone beam computed tomography; SD, standard deviation. Tooth number follows FDI system. Mesiodistal tooth axis value greater than 90° indicate a mesial angulation of root; mesiodistal tooth axis value less than 90° indicate distal angulation of root.

파노라마 영상을 형성하는 과정에서 오차는 작았다.

기준이 되는 CBCT 삼차원 영상의 계측값과 CBCT-재구성 파노라마영상 및 파노라마방사선영상의 계측값 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 paired *t* test를 시행하였다.

그리고 CBCT-재구성 파노라마영상의 계측값과 3가지 교합평면의 변화에 따른 파노라마방사선영상의 계측값을 비교분석하기 위해 ANOVA 및 사후검정(Duncan's multiple range test)을 시행하였다.

연구성적

CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상 및 파노라마방사선영상에서의 계측값

이차원 파노라마영상은 CBCT-재구성 파노라마

영상과 세 교합평면 변화에 따른 파노라마방사선영상을 합하여 총 네 군으로 구성하였다. 측정된 각 치아별 계측값의 평균과 표준편차는 Table 1에 제시되었고 그 중 교합평면변화에 따른 파노라마방사선영상들에서 각 치아의 근원심 치측 경사 계측값이 불규칙하게 변화되는 것을 볼 수 있었다.

CBCT 삼차원 영상과 이차원 파노라마영상의 비교

CBCT 삼차원 영상에서의 근원심 치측 경사와 가장 근접한 측정값을 나타내는 영상을 알아보기 위하여 CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상 및 교합평면의 전후방적인 기울기 변화에 따른 파노라마방사선영상 각각의 근원심 치측 경사 계측값을 비교 분석하였으며 이를 위해 CBCT 삼차원 영상과 네 군의 이차원 파노라마영상에 대해 각각 paired *t* test를 시행하였다 (Table 2, Fig 4) (*p* <

Table 2. Comparisons of mesiodistal tooth axis between CBCT 3D image and CBCT-generated panoramic view, and between CBCT 3D image and panoramic radiographs

Tooth number		#15	#14	#13	#12	#11	#21	#22	#23	#24	#25
CBCT-generated panoramic view	Mean difference (°)	3.07	2.00	(-)0.02	0.16	(-)0.14	0.02	0.07	0.02	1.03	0.12
	Significance	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Panoramic radiograph (-5°)	Mean difference (°)	2.50	1.62	(-)7.19	(-)2.98	(-)0.96	(-)4.03	(-)4.51	(-)8.68	0.63	6.60
	Significance	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Panoramic radiograph (0°)	Mean difference (°)	5.57	3.21	(-)5.57	(-)2.65	(-)0.50	(-)3.83	(-)4.38	(-)5.81	3.45	8.89
	Significance	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Panoramic radiograph (+5°)	Mean difference (°)	8.57	6.57	(-)3.05	(-)2.15	(-)1.23	(-)2.70	(-)4.00	(-)3.31	5.04	10.74
	Significance	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tooth number		#45	#44	#43	#42	#41	#31	#32	#33	#34	#35
CBCT-generated panoramic view	Mean difference (°)	(-)5.15	(-)3.79	0.04	0	0.03	(-)0.13	0.02	0.07	(-)3.81	(-)1.88
	Significance	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*
Panoramic radiograph (-5°)	Mean difference (°)	7.68	12.97	1.53	0.26	(-)1.38	2.16	3.56	0.59	17.30	12.49
	Significance	*	*	*	NS	*	*	*	NS	*	*
Panoramic radiograph (0°)	Mean difference (°)	8.07	13.45	1.01	0.28	(-)0.74	1.71	4.21	(-)1.33	16.83	12.04
	Significance	*	*	*	NS	*	*	*	NS	*	*
Panoramic radiograph (+5°)	Mean difference (°)	7.73	13.50	1.17	0.79	(-)1.18	0.51	3.11	(-)1.80	16.18	10.63
	Significance	*	*	*	NS	NS	NS	*	NS	*	*

CBCT, Cone beam computed tomography; NS, no significance. Tooth number follows FDI system. Mean difference (°), differences of measured mesiodistal tooth axis between CBCT 3D image and CBCT-generated panoramic view, and between CBCT 3D image and panoramic radiographs. Negative (-) values of mean differences indicate mesiodistal tooth axis on CBCT 3D image is smaller than that on other images. **p* < 0.05.

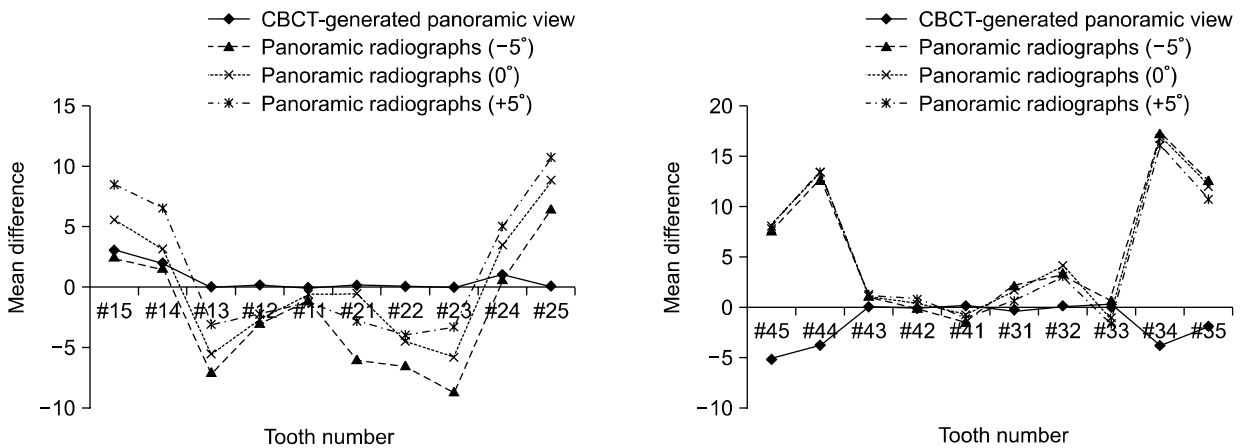


Fig 4. Mean differences of tooth axis between CBCT 3D image and each panoramic image (CBCT-generated panoramic view and panoramic radiographs). CBCT, Cone beam computed tomography. Tooth number follows FDI system.

0.05).

CBCT 삼차원 영상과 비교 시 CBCT-재구성 파노라마영상에서 견치를 포함한 상하악 전치부에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내지 않았으며 #25를 제외한 나머지 소구치부에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다.

CBCT 삼차원 영상과 파노라마방사선영상의 비교 시 상악에서는 세 교합평면의 모든 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다. 하악에서는 모든 교합평면에서 #33, 42가 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내지 않았고 나머지 치아는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다. 다만 추가적으로 +5°의 교합평면에서 #31, 41이 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다.

CBCT-재구성 파노라마영상과 세 교합평면의 변화에 따른 파노라마방사선영상의 비교

CBCT-재구성 파노라마영상과 교합평면의 변화에 따른 파노라마방사선영상의 차이를 알아보기 위해 ANOVA를 시행하였으며 #41, 42에서 통계학적으로 유의성 있는 차이가 없었다. #41, 42를 제외한 나머지 치아들에 대해 Duncan 사후검정을 시행하였다 (Table 3, Fig 5) ($p < 0.05$).

사후검정 결과 -5°의 교합평면에서 #14, 24, 33이, +5°의 교합평면에서 #31이 CBCT-재구성 파노라마영상과 통계학적으로 유의성 있는 차이가 없었으며 단지 소수의 치아를 제외하고 대부분의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었

다.

CBCT-재구성 파노라마영상과 세 교합평면의 변화에 따른 파노라마방사선영상의 상관성

CBCT-재구성 파노라마영상과 세 군의 파노라마방사선영상에서 각 치아 간 각도 변화에 따른 상관성을 알아보기 위해 Spearman 상관분석을 시행하였다 (Table 4).

그 결과 -5°의 교합평면에서 #35, 0°의 교합평면에서 #34, +5°의 교합평면에서 #44, 45만이 상관성이 있었으며, 단지 소수의 치아를 제외하고 대부분의 치아에서 상관성을 보이지 않았다.

고찰

교정 치료 시에 치축의 각도 평가는 매우 중요한 항목 중 하나이고 근원심 치축 경사를 손쉽게 판별하기 위해 현재 임상에서 가장 많이 쓰이고 있는 방법은 파노라마방사선영상이다.^{7,8,25} 파노라마방사선영상 촬영 시 왜곡이 가장 작은 상을 얻기 위해서는 각 촬영기마다 가지는 고유한 상층 내에 구조물을 위치시키는 것이 중요하며 이를 위해 제조회사마다 여러 가지 가이드를 제공하고 있고 본 연구에서 이용된 Orthoceph[®] OC100 D 디지털 파노라마방사선 촬영 장치 역시 환자 위치 가이드가 제시되어 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 이전의 많은 문헌들이 파노라마방사선영상의 이미지 왜곡에 대해서 보고하고 있고^{9,26} 특히 Mckee 등¹⁵과 Jeon 등¹⁶은

Table 3. Comparisons of mesiodistal tooth axis between CBCT-generated panoramic view and panoramic radiographs

		#15	#14	#13	#12	#11	#21	#22	#23	#24	#25
F value		209.27	113.70	434.41	51.83	6.07	181.14	147.66	818.39	83.56	447.23
p value		0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Mean difference (°)	Panoramic radiograph (-5°)	(-)0.57	(-)0.38	(-)7.17	(-)3.14	(-)0.82	(-)4.05	(-)4.58	(-)8.70	(-)0.40	6.48
	Panoramic radiograph (0°)	2.50	1.21	(-)5.55	(-)2.81	(-)0.36	(-)3.85	(-)4.45	(-)5.83	2.42	8.77
	Panoramic radiograph (+5°)	5.50	4.57	(-)3.03	(-)2.31	(-)1.09	(-)2.72	(-)4.07	(-)3.33	4.01	10.62
	Duncan test [†]	CBCT-generated panoramic view	C	C	A	A	A	A	A	A	C
	Panoramic radiograph (-5°)	D	C	D	C	BC	D	C	D	C	C
	Panoramic radiograph (0°)	B	B	C	BC	AB	C	B	C	B	B
	Panoramic radiograph (+5°)	A	A	B	B	B	B	B	B	A	A
		#45	#44	#43	#42	#41	#31	#32	#33	#34	#35
F value		472.23	1332.79	25.77	19.83	10.66	2.09	10.14	1228.49	791.06	1.25
p value		0*	0*	0*	0.296	0.105	0*	0*	0*	0*	0*
Mean difference (°)	Panoramic radiograph (-5°)	12.83	16.76	1.49	0.26	(-)1.41	2.29	3.54	0.52	21.11	14.37
	Panoramic radiograph (0°)	13.22	17.24	0.97	0.28	(-)0.77	1.84	4.19	(-)1.40	20.64	13.92
	Panoramic radiograph (+5°)	12.88	17.29	1.13	0.79	(-)1.21	0.64	3.09	(-)1.87	19.99	12.51
	Duncan test [†]	CBCT-generated panoramic view	C	C	B			B	C	A	C
	Panoramic radiograph (-5°)	B	B	A			A	A	A	A	A
	Panoramic radiograph (0°)	B	B	A			A	A	B	AB	A
	Panoramic radiograph (+5°)	A	A	A			B	B	C	B	B

CBCT, Cone beam computed tomography. Tooth number follows FDI system. Mean difference (°), difference of measured mesiodistal tooth axis between CBCT-generated panoramic view and panoramic radiographs. *p < 0.05; †Groups with the same letter are not different per each tooth.

교합평면 변화에 따라 파노라마방사선영상에서 근원심 치근 경사가 달라질 수 있으므로 파노라마방사선영상 촬영 시 환자의 교합평면의 경사에 대한

고려가 필요하다고 하였고 Stramotas 등¹⁷은 파노라마방사선영상 촬영 시 교합평면의 전후방적인 기울기에 따라 유의성 있는 치아의 길이와 각도 변화가

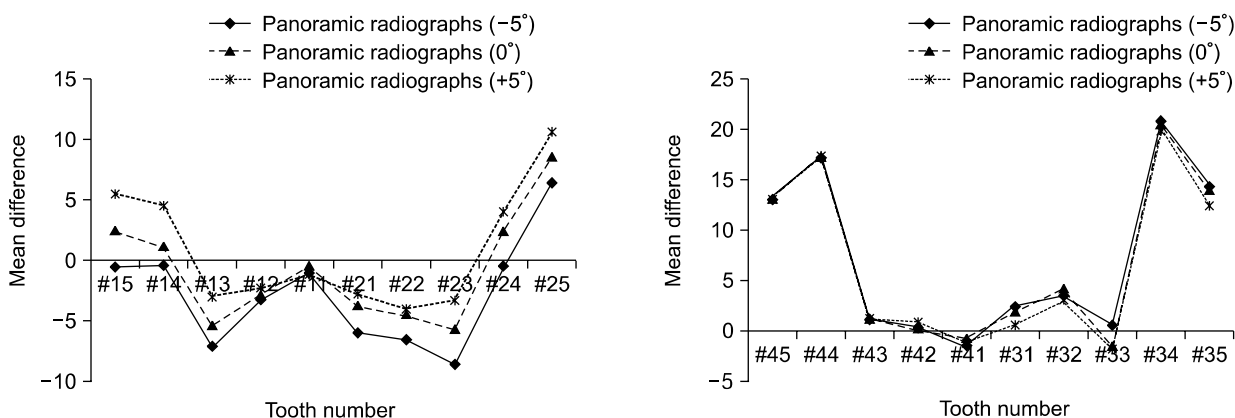


Fig 5. Mean angular differences of the mesiodistal tooth axis between CBCT-generated panoramic view image and panoramic radiograph images. CBCT, Cone beam computed tomography.

Table 4. Spearman correlation coefficient between CBCT-generated panoramic view and panoramic radiographs

	#15	#14	#13	#12	#11	#21	#22	#23	#24	#25
CBCT-generated panoramic view radiograph (-5°)	(-)0.249	(-)0.006	0.157	(-)0.084	(-)0.066	(-)0.346	0.002	(-)0.160	(-)0.060	(-)0.155
Panoramic radiograph (0°)	(-)0.177	(-)0.016	0.135	0.157	(-)0.220	(-)0.026	(-)0.074	(-)0.111	0.111	0.096
Panoramic radiograph (+5°)	(-)0.061	0.173	0.173	0.097	0.352	(-)0.003	(-)0.130	(-)0.106	0.194	(-)0.170
	#45	#44	#43	#42	#41	#31	#32	#33	#34	#35
CBCT-generated panoramic view radiograph (-5°)	(-)0.159	(-)0.176	0.14	(-)0.103	0.018	0.299	0.082	0.078	(-)0.314	(-)0.423*
Panoramic radiograph (0°)	(-)0.081	(-)0.009	0.023	0.266	0	0.196	0.08	0.054	(-)0.375*	(-)0.083
Panoramic radiograph (+5°)	0.553 [†]	(-)0.409*	0.066	0.062	0.004	(-)0.347	(-)0.077	(-)0.099	(-)0.238	0.344

CBCT, Cone beam computed tomography. * $p < 0.05$; [†] $p < 0.01$.

발생한다고 보고하였다. 협설 치근 경사의 변화에 따른 왜곡도 발생할 수 있는데 Garcia-Figueroa 등¹³ 과 Choi 등¹⁸은 협설 치근 경사의 변화가 파노라마 방사선영상에서의 근원심 치근 경사에 영향을 미친다고 보고하였다.

파노라마방사선영상 촬영 시 각 환자에 따라 두

부위치를 원하는 위치에 정확히 위치시키는 것은 어려우며 치아의 경사를 판별하는데 파노라마방사선영상은 삼차원 구조를 이차원으로 투영하는 것이므로 상의 왜곡이 발생할 수 있어서 삼차원 영상의 활용이 점차 증가하고 있다.^{19,21,27}

그 중 CBCT는 medical CT에 비해 적은 장비의

비용과 방사선 노출량으로 고해상도의 영상과 위치 정보를 제공할 수 있다는 장점이 있어 많이 사용되고 있다.²⁰ 그러나 CBCT 삼차원 영상을 활용하여 계측하는 방법은 보편적인 파노라마방사선영상에 비해서 시간이 많이 걸리고 삼차원 계측점을 재현성 있게 표시하는 것이 복잡한 단점이 있다.¹⁹ 특히 대략적인 치축 경사를 확인하는 과정에서는 삼차원 영상이 보다 직관적인 영상을 보여주지만 정확한 각도의 계측을 위해서는 삼차원 영상에서 각도 측정이 가능한 프로그램이 필요하므로 임상적으로 CBCT 삼차원 영상을 이용한 치축 경사 확인은 쉽지 않다. 현재 삼차원 영상의 보급이 활발히 이루어지고 있지만 임상에서 가장 손쉽게 치축을 확인하는 방법 중 파노라마방사선영상을 많이 이용하므로 삼차원 영상을 그대로 이용하는 것보다 CBCT-재구성 파노라마영상을 이용하는 것이 술자에게 더욱 친근한 방법이 될 수 있으리라고 생각된다.

본 연구에서 제시된 CBCT-재구성 파노라마영상은 술자가 CBCT 영상 데이터로부터 재구성할 때 axis & reslice 과정을 거치기 때문에 환자 두부위치의 변화에 따른 오차를 피할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이에, 실제 근원심 치축 경사를 가장 잘 나타낼 수 있는 이차원 파노라마영상에 대해 알아보고 CBCT-재구성 파노라마영상과 교합평면 변화에 따른 파노라마방사선영상을 비교하여 그 차이를 알아보았다.

CBCT 삼차원 영상의 계측값과 CBCT-재구성 파노라마영상의 계측값을 비교한 결과 CBCT-재구성 파노라마영상의 20개 치아 중 7개의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타냈고 이차원 파노라마영상 중 가장 적은 치아에서 계측값의 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 소구치부에서는 대부분 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타냈으며 전치 및 견치부에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 CBCT-재구성 파노라마영상이 전치 및 견치부에서 근원심 치축 경사의 재현성이 좋았으나 소구치부에서는 그렇지 않았음을 보여주었다. Van Elslande 등²²의 연구에서 치아의 근원심 치축 경사와 CBCT-재구성 파노라마영상의 근원심 치축 경사를 비교하였을 때, 상악에서는 측절치, 하악에서는 견치와 소구치에서 차이가 컸으며 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이는 치아의 패턴이 없는 것에 반해 본 연구에서는 상하악 전치 및 견치부에서 차이가 작았으며 치아별로 일정한 패턴을 보였다. 비록 소구치부

에서 계측값의 차이를 보였지만 근원심 치축 경사의 인지력은 관찰자에 따라 많은 차이를 보였다는 보고가 있고^{24,28} Mckee 등²³이 치아와 파노라마방사선영상에서의 근원심 치축 경사를 비교 시, 상악에서는 평균 7°, 하악에서는 평균 5.7°의 계측값 차이를 보였다고 보고하여 본 연구에서 사용된 CBCT-재구성 파노라마영상에서 그 차이가 훨씬 작았으므로 CBCT-재구성 파노라마영상이 실제 치아의 근원심 치축 경사 확인에 활용 가능할 것으로 보인다.

CBCT-재구성 파노라마영상의 소구치부 계측값에서 왼쪽에 비해 오른쪽이 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 다른 연구에서 평균적인 초점층을 사용하여 자동적으로 CBCT-재구성 파노라마영상을 형성하는 것²⁹과 달리 본 연구에서는 술자가 직접 axial image에서 치조골 중심을 따라 arch line을 설정함으로써 술자의 편향된 계측점 설정에 의해 비대칭적인 arch curve를 형성하여 발생한 오차라 여겨진다.

CBCT-재구성 파노라마영상과 교합평면 변화에 따른 파노라마방사선영상의 계측값 비교 시 대부분의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었으며 CBCT-재구성 파노라마영상과 파노라마방사선영상 계측값 사이의 상관성을 분석한 결과에서도 대부분의 치아에서 상관성을 보이지 않았다. Scarfe 등³⁰에 따르면 파노라마방사선영상 촬영 시에 연속적으로 움직이는 초점경로로 인해 조사각도는 각 치아의 위치마다 서로 다를 수 있고 이에 따라 치아의 근원심 치축 경사가 바뀔 수 있음을 보고하였다. 이번 연구에서도 조사각도변화에 따른 각 치아의 근원심 치축 경사의 차이가 나타났다.

또한 CBCT 삼차원 영상에서 측정한 계측값의 표준편차가 CBCT-재구성 파노라마영상과 파노라마방사선영상에서 측정한 계측값의 표준편차보다 더 작게 나타났는데 이것은 금속 구슬을 이용하여 계측을 함으로써 편차를 줄일 수 있었던 것으로 보인다.

지금까지 CBCT 삼차원 영상을 이용하여 근원심 치축 경사 확인에 적절한 이차원 파노라마영상을 찾고자 하였다. 이번 연구에서 사용된 CBCT-재구성 파노라마영상에서는 CBCT 삼차원 영상과 비교 시에 전치 및 견치부에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 볼 수 없었고 나머지 파노라마방사선영상에서는 CBCT 삼차원 영상과 비교 시에 하악의 몇몇 치아를 제외한 대부분의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타냈다. 그러므로 전치 및 견치부에서 근원심 치축 경사 확인 시에 파노라마

방사선영상보다 CBCT-재구성 파노라마영상이 더 적절하다고 할 수 있다. 파노라마방사선영상에서는 CBCT-재구성 파노라마영상과 비교 시에 대부분 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타냈다. CBCT-재구성 파노라마영상은 CBCT 영상 데이터로부터 쉽게 재구성할 수 있었고, 삼차원 영상에 비해 술자가 쉽게 계측을 할 수 있었다. CBCT-재구성 파노라마영상은 CBCT 삼차원 영상에 숙련되지 않은 일반 임상가가 정보를 보다 편리하게 활용할 수 있는 하나의 도구로써 역할을 할 수 있으리라고 생각된다. 그리고 앞으로 CBCT의 활용이 증가됨에 따라 CBCT-재구성 파노라마영상의 다양한 응용에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론

실제 근원심 치축 경사를 가장 잘 나타낼 수 있는 이차원 파노라마영상에 대해 알아보기 위해 연구모형을 제작하여 근원심 치축 경사 계측을 실시한 뒤 이 값들을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CBCT 삼차원 영상을 기준으로 CBCT-재구성 파노라마영상 형성 시에 높은 신뢰도로 일정한 영상을 얻을 수 있었다.
2. CBCT 삼차원 영상과 CBCT-재구성 파노라마영상의 계측값 비교 시에 대부분의 소구치부에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타냈으나 전치 및 견치부에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다.
3. CBCT 삼차원 영상과 교합평면을 변화시킨 파노라마방사선영상의 계측값 비교 시에 하악의 몇몇 치아를 제외한 대부분의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다.
4. CBCT-재구성 파노라마영상과 교합평면을 변화시킨 파노라마방사선영상의 계측값 비교 시에 대부분의 치아에서 통계학적으로 유의성 있는 차이를 나타내었으며 상관성을 보이지 않았다.

이상의 연구 결과는 CBCT-재구성 파노라마 영상이 근원심 치축 경사 평가 시 삼차원 영상보다 정확하지는 않지만, 파노라마방사선영상을 대체하여 임상적으로 사용 가능성을 보여주었다.

참고문헌

1. Dewel BF. Clinical observations on the axial inclination of teeth. *Am J Orthod* 1949;35:98-115.
2. Mayoral G. Treatment results with light wires studied by panoramic radiography. *Am J Orthod* 1982;81:489-97.
3. Ursi WJ, Almeida RR, Tavano O, Henriques JF. Assessment of mesiodistal axial inclination through panoramic radiography. *J Clin Orthod* 1990;24:166-73.
4. Graber TM. Postmortems in posttreatment adjustment. *Am J Orthod* 1966;52:331-52.
5. Edwards JG. The prevention of relapse in extraction cases. *Am J Orthod* 1971;60:128-44.
6. Hatasaka HH. A radiographic study of roots in extraction sites. *Angle Orthod* 1976;46:64-8.
7. Keim RG, Gottlieb EL, Nelson AH, Vogels DS 3rd. 2002 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. Part 3. More breakdowns of selected variables. *J Clin Orthod* 2002;36:690-9.
8. American Board of Orthodontics. Grading system for dental casts and panoramic radiographs [CD-ROM]. St Louis; 2002.
9. Xie Q, Soikkonen K, Wolf J, Mattila K, Gong M, Ainamo A. Effect of head positioning in panoramic radiography on vertical measurements: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 1996;25:61-6.
10. Wyatt CC, Pharoah MJ. Imaging techniques and image interpretation for dental implant treatment. *Int J Prosthodont* 1998;11:442-52.
11. Lam EW, Ruprecht A, Yang J. Comparison of two-dimensional orthoradially reformatted computed tomography and panoramic radiography for dental implant treatment planning. *J Prosthet Dent* 1995;74:42-6.
12. Frederiksen NL. Diagnostic imaging in dental implantology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;80:540-54.
13. Garcia-Figueroa MA, Raboud DW, Lam EW, Heo G, Major PW. Effect of buccolingual root angulation on the mesiodistal angulation shown on panoramic radiographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:93-9.
14. Lucchesi MV, Wood RE, Nortjé CJ. Suitability of the panoramic radiograph for assessment of mesiodistal angulation of teeth in the buccal segments of the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:303-10.
15. Mckee IW, Glover KE, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Major PW. The effect of vertical and horizontal head positioning in panoramic radiography on mesiodistal tooth angulations. *Angle Orthod* 2001;71:442-51.
16. Jeon HS, Choi GL, Lim SH, Kim KW. Distortion of tooth axes on panoramic radiographs taken at various head positions. *Korean J Orthod* 2008;38:240-51.
17. Stramotas S, Geenty JP, Petocz P, Darendeliler MA. Accuracy of linear and angular measurements on panoramic radiographs taken at various positions in vitro. *Eur J Orthod* 2002;24:43-52.
18. Choi GL, Lim SH, Kim KW, Kim JD. Change in tooth length and angulation on panoramic radiographs taken at different la-

- biolingual and buccolingual inclinations. *Korean J Orthod* 2007;37:114-24.
19. Lou L, Lagravere MO, Compton S, Major PW, Flores-Mir C. Accuracy of measurements and reliability of landmark identification with computed tomography (CT) techniques in the maxillofacial area: a systematic review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:402-11.
 20. Marmulla R, Wörtche R, Mühling J, Hassfeld S. Geometric accuracy of the NewTom 9000 Cone Beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;34:28-31.
 21. Peck JL, Sameshima GT, Miller A, Worth P, Hatcher DC. Mesiodistal root angulation using panoramic and cone beam CT. *Angle Orthod* 2007;77:206-13.
 22. Van Elslande D, Heo G, Flores-Mir C, Carey J, Major PW. Accuracy of mesiodistal root angulation projected by cone-beam computed tomographic panoramic-like images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4 Suppl):S94-9.
 23. Mckee IW, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Glover KE, Major PW. The accuracy of 4 panoramic units in the projection of mesiodistal tooth angulations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:166-75.
 24. McNamara JA Jr. A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod* 1984;86:449-69.
 25. Frykholm A, Malmgren O, Sämfors KA, Welander U. Angular measurements in orthopantomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1977;6:77-81.
 26. Philipp RG, Hurst RV. The cant of the occlusal plane and distortion in the panoramic radiograph. *Angle Orthod* 1978;48:317-23.
 27. Baba R, Ueda K, Okabe M. Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:285-90.
 28. Samawi SS, Burke PH. Angular distortion in the orthopantomogram. *Br J Orthod* 1984;11:100-7.
 29. Mischkowski RA, Scherer P, Ritter L, Neugebauer J, Keeve E, Zöllner JE. Diagnostic quality of multiplanar reformations obtained with a newly developed cone beam device for maxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:1-9.
 30. Scarfe WC, Nummikoski P, McDavid WD, Welander U, Tronje G. Radiographic interproximal angulations: implications for rotational panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993;76:664-72.

Evaluation of mesiodistal tooth axis using a CBCT-generated panoramic view

In-Tae Song, DDS, MSD,^a Jin-Hyoung Cho, DDS, MSD, PhD,^b Jong-Moon Chae, DDS, MSD, PhD,^c
Na-Young Chang, DDS, MSD^d

Objective: The purpose of this study was to confirm the reliability of a cone beam computed tomography (CBCT)-generated panoramic view based on a CBCT 3D image and to find the most helpful 2D panoramic image compared with CBCT 3D image when examining the mesiodistal tooth axis. **Methods:** A test model was constructed according to cephalometric norms. The test model was repeatedly repositioned for CBCT and panoramic radiographic imaging. Panoramic radiographs were acquired at each of the following 3 occlusal plane positions: -5° , 0° , and $+5^{\circ}$. Measurements of mesiodistal tooth axis in CBCT 3D image, CBCT-generated panoramic view, and panoramic radiographs were compared. **Results:** Compared with the CBCT-generated panoramic view, CBCT 3D image showed significant difference in the mesiodistal tooth axis in the premolars and no significant difference in the mesiodistal tooth axis in the incisors and canines. Mesiodistal tooth axis on the CBCT-generated panoramic view was significantly different from that on panoramic radiographs. **Conclusions:** CBCT-generated panoramic view can be a useful tool for evaluating mesiodistal tooth axis. (*Korean J Orthod* 2011;41(4):255-267)

Key words: Cone beam computed tomography (CBCT), CBCT-generated panoramic view, Mesiodistal tooth axis

^aGraduate Student, ^bAssociate Professor, Department of Orthodontics, Sanbon Dental Hospital, Wonkwang University.

^cAssociate Professor, ^dAssistance Professor, Department of Orthodontics, Daejeon Dental Hospital, Wonkwang University.

Corresponding author: **Jin-Hyoung Cho.**

Department of Orthodontics, Sanbon Dental Hospital, Wonkwang University, Sanbon-dong, Gunpo 435-040, Korea.
+82 31 390 2896; e-mail, ggarydenti@hanmail.net.

Received September 17, 2010; Last Revision May 23, 2011; Accepted May 26, 2011.