

3차원 콘빔CT 영상에서 형성한 2차원 정모두부방사선사진영상의 정확도 증진을 위한 두부자세재현기의 효과

선민규^a · 엄기수^a · 조진형^b · 황현식^c

본 연구는 3차원 콘빔CT 영상을 이용하여 2차원 정모두부방사선사진영상 형성 시 두부자세재현기(Head Posture Aligner, HPA)를 이용한 경우와 이용하지 않은 경우를 비교분석함으로써 HPA의 유용성을 평가하기 위하여 시행되었다. 성인 30명을 대상으로 먼저 일반적인 방법으로 콘빔CT 영상을 채득한 후 HPA를 이용하여 일정한 두부자세를 재현한 상태에서 또 하나의 콘빔CT 영상 및 정모두부방사선사진을 촬영하였다. 3차원 영상프로그램을 이용하여 HPA를 이용하지 않은 경우와 HPA를 이용한 경우 각각에서 2차원 정모두부방사선사진영상을 형성한 다음 각각의 투사도를 작성하고 실제로 HPA를 이용하여 촬영된 정모두부방사선사진 투사도와와의 차이를 비교하였다. 거리 및 각도를 나타내는 여러 계측치를 비교분석한 결과 HPA를 이용하지 않은 경우에는 다수의 계측항목에서 실제 정모두부방사선사진과 유의한 차이를 보인 반면 HPA를 이용한 경우에는 모든 항목에서 통계적 유의차를 보이지 않았다. 아울러 실제 정모두부방사선사진과의 상관관계를 알아보기 위해 상관분석을 시행한 결과 HPA를 이용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 모든 항목에서 높은 상관성을 보였다. 본 연구 결과는 3차원 콘빔CT 영상을 이용하여 2차원 정모두부방사선사진영상 형성 시 정확한 영상 획득을 위해서는 콘빔CT 촬영 시 HPA의 사용이 필요함을 시사하였다. (대치교정지 2009;39(5):289-299)

주요 단어: 콘빔CT, 정모두부방사선사진, 두부자세재현기

서론

컴퓨터 기술의 발달로 CT (computed tomography)가 보급되면서 악안면 형태의 진단 및 연구에서 3차원 영상 이용에 대한 관심이 증가하였다.¹ 최근에는 콘빔(cone-beam) 기술을 이용한 치과전용 CT가 개발되었는데² 이는 기존의 CT에 비해 적은 방사선을 방출하는 것으로 보고되어^{3,5} 임상에서 보다 많은 사용, 나아가 모든 환자에서 의례적 사용도 예상

되고 있다.⁶

콘빔CT 촬영으로 3차원 영상을 획득하여 교정진단 및 평가에 유용하게 사용하고 있는 한편, ALARA (as low as reasonably achievable)⁷ 원칙에 의해 가능한 한 적은 수의 영상 채득을 추구한다는 필요성에 따라 3차원 콘빔CT 영상을 이용하여 컴퓨터 프로그램을 통해 2차원 두부방사선사진영상을 제작함으로써 추가적인 두부방사선사진 촬영을 피하고자 하는 시도가 있어왔다.⁸

Farman과 Scarfe⁹가 콘빔CT 영상을 이용한 2차원 두부방사선사진 형성 방법을 소개한 이래 Moshiri 등,¹⁰ Kumar 등,¹¹ 그리고 van Vlijmen 등¹²은 건조 두개골을 이용하여, Kang 등,¹³ Kumar 등,¹⁴ 그리고 Cattaneo 등¹⁵은 교정환자를 대상으로 각각 콘빔CT 및 실제 두부방사선규격사진을 촬영한 후 콘빔CT 영상으로부터 형성한 두부방사선사진을 실측치^{10,11} 및 실제 두부방사선규격사진¹²⁻¹⁵과 비교분석을 시행하였다. 그 결과 이들 연구는 모두 실제 두부방사선규

^a대학원생, ^b조교수, ^c교수, 전남대학교 치의학전문대학원 치의학연구소, 2단계 BK21 연구사업단, 교정학교실.

교신저자: 황현식.

광주시 북구 용봉동 300번지 전남대학교 치의학전문대학원 교정학교실.

062-530-5656; e-mail, hhwang@chonnam.ac.kr.

원고접수일: 2009년 8월 19일 / 원고최종수정일: 2009년 10월 9일 /

원고채택일: 2009년 10월 11일.

DOI:10.4041/kjod.2009.39.5.289

격사진과 두드러진 차이를 보이지 않음으로 임상에서 콘빔CT 촬영으로 형성한 두부방사선사진이 실제 두부방사선규격사진을 대체할 수 있음을 보고하였다. 더욱이 건조 두개골을 대상으로 콘빔CT를 촬영한 후 이로부터 형성한 두부방사선사진과 실제 두부방사선규격사진의 계측 재현도를 비교한 최근 연구에서는 콘빔CT 두부방사선사진이 실제 두부방사선계측사진보다 재현도가 우수함을 보고하기도 하였다.¹²

그러나 이들은 모두 측모두부방사선사진영상 형성에 관한 연구이며 정모두부방사선사진영상에 관한 연구는 미미한 실정이다. 최근 van Vlijmen 등¹⁶이 건조 두개골을 이용하여 시행한 연구가 유일한데 이들은 40개의 건조 두개골을 대상으로 콘빔CT 영상 및 정모두부방사선규격사진을 채득한 후 콘빔CT 영상으로부터 형성한 정모두부방사선사진과 실제 정모두부방사선규격사진을 비교한 결과 유의한 차이를 나타냄을 발표하여, 콘빔CT 영상으로부터 정모두부방사선사진을 형성하는 것이 측모두부방사선사진 형성에서와는 달리 임상에서 문제가 있음을, 그리고 이는 두부자세의 차이에 기인함을 보고하였다.

한편 Kim과 Hwang¹⁷은 정모두부방사선사진 촬영시 두부자세재현기(Head Posture Aligner, HPA)를 이

용할 경우 두부자세를 일정하게 재현할 수 있음을 발표하여, 측모와 정모두부방사선규격사진, 또는 정면얼굴사진과 정모두부방사선규격사진 등 서로 다른 영상 채득방법에서도 같은 두부자세의 영상을 손쉽게 획득할 수 있는 가능성을 제시한 바 있다.

본 연구는 3차원 콘빔CT 영상을 이용하여 2차원 정모두부방사선사진영상 형성 시 HPA를 이용한 경우와 이용하지 않은 경우를 비교분석함으로써 콘빔CT 촬영시 HPA 사용의 유용성을 평가하기 위하여 시행되었다.

연구방법

연구재료

본 연구는 콘빔CT 영상 채득시 HPA의 유용성을 평가하기 위해 남녀 구분 없이 30명의 성인(남자 17, 여자 13명, 평균연령 28세 5개월)을 대상으로 HPA의 도움 없이 촬영한 콘빔CT 영상과 HPA를 이용하여 촬영한 콘빔CT 영상 그리고 정모두부방사선규격사진을 연구재료로 사용하였다.

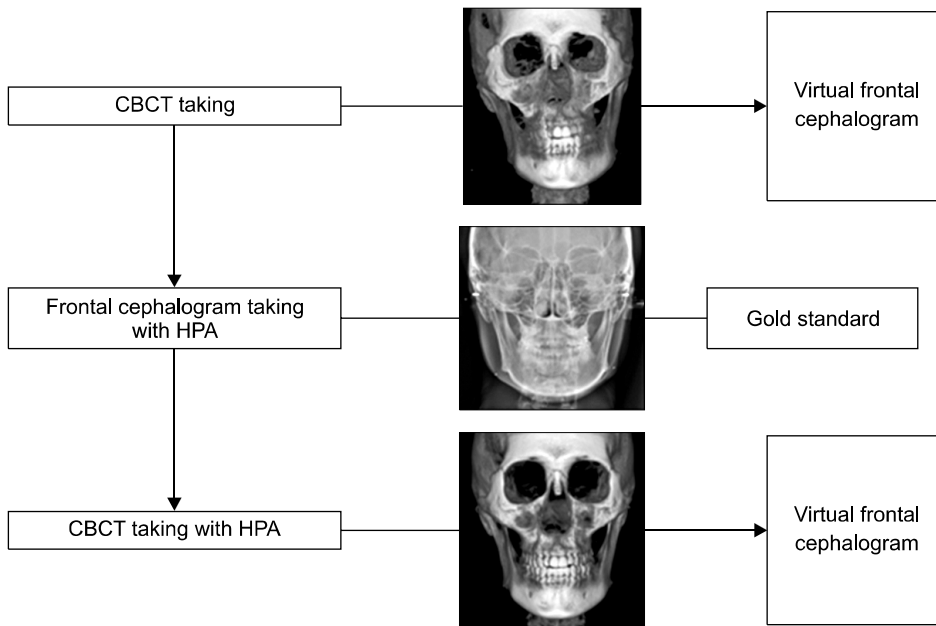


Fig 1. Image acquisition to compare accuracy of CBCT-generated frontal cephalograms between with and without the use of Head Posture Aligner (HPA). The real frontal cephalograms serve as the gold standard in this study.

연구방법

콘빔CT 및 정모두부방사선규격사진 촬영

각 대상자에서 Fig 1과 같이 먼저 일반적인 방법으로 콘빔CT 영상을 채득한 후 HPA를 이용하여 일정한 두부자세를 재현한 상태에서 또 하나의 콘빔CT 영상 및 정모두부방사선규격사진을 촬영하였다.

본 연구를 위해 콘빔CT 스캐너(Alphard Vega, Asahi Roentgen Co., Kyoto, Japan)의 촬영조건을 80 kV, 5 mA, voxel size $0.39 \times 0.39 \times 0.39$ mm (C mode), 촬영 범위 200×179 mm로 하였고, 두부방사선규격사진 촬영기(OrthoCeph[®] OC100, Instrumentarium Imaging Co., Tuusula, Finland)의 촬영조건은 관전류 12 mA, 관전압 80 kVp, 필름-피사체 거리 150 mm, 피사체-방사선원 거리 1,500 mm, 노출시간 1.2 - 1.7

초로 하였다.

HPA는 Kim과 Hwang¹⁷의 방법에 따라 1.5 m 정도 떨어진 곳에 거울을 설치하고 가장 자연스럽게 편안한 자세로 거울 속의 눈을 바라보게 한 상태에서 물방울 수평계를 회전시켜서 물방울이 정중앙에 위치하도록 조정하여 정모두부방사선규격사진과 콘빔CT를 각각 촬영하였다. 또한 HPA에 교정용 와이어를 평행하게 부착하여 콘빔CT 영상에서 이를 이용하여 두부자세를 확인할 수 있도록 하였다. HPA를 이용하여 콘빔CT 촬영 시에는 스캐너에 있는 두부고정대를 좌우 측두부에 위치시킴으로써 촬영 중 두부를 고정하였으며, 차후 3차원 영상에서 두부자세 조정의 기준축을 형성하기 위하여 Hwang¹⁸의 방법에 따라 직경 1.0 mm 티타늄 볼이 가운데에 내장된 ear plug를 대상자의 좌우 외이도에 삽입하여 촬영하였다 (Fig 2).

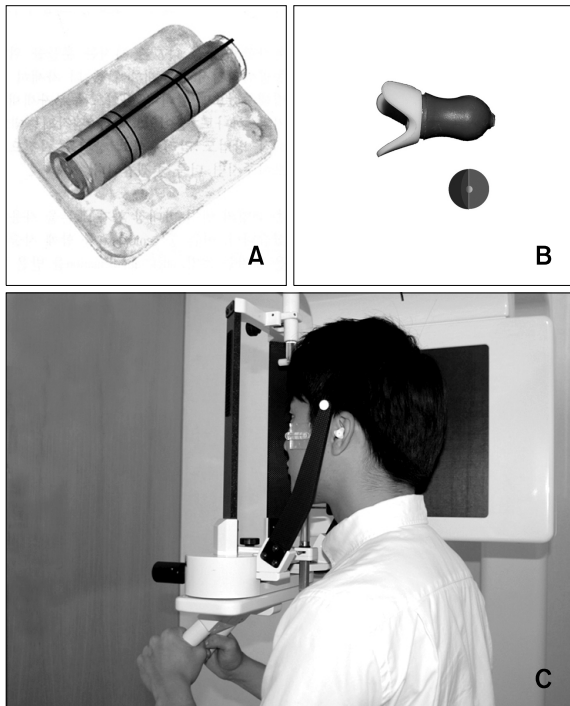


Fig 2. A, Head Posture Aligner: straight wire indicator is attached in parallel with fluid spirit level equalizer; B, Reference ear plug: titanium ball marker is located in the center of ear plug; C, A subject with the HPA on one side and a couple of ear plugs positioned in both sides of the ear. A couple of ball markers in the ear plugs are represented on volume rendering image to simulate ear rods in conventional cephalometric apparatus.

3차원 콘빔CT 영상으로부터 정모두부방사선사진 영상 형성

콘빔CT 촬영으로 얻은 DICOM 영상정보를 컴퓨터로 옮긴 후 3차원 영상 프로그램(OnDemand3D[™] Application, CyberMed Inc., Seoul, Korea)의 x-ray generator 기능을 이용하여 정모두부방사선사진영상을 형성하였다. HPA 없이 촬영한 콘빔CT 영상은 아무런 조정 없이 프로그램의 기능에 의해 정모두부방사선사진영상을 형성한 반면, HPA를 이용하여 촬영한 영상에서는 volume rendering 영상에 나타난 좌우 볼 마커와 HPA의 와이어를 이용하여 두부자세를 조정한 후 정모두부방사선사진영상을 형성하였다. 즉 프로그램 상의 좌측 및 우측의 ear rod 중심점 표지자를 좌우측 볼 마커에 각각 위치시켜 프로그램 상의 virtual central ray가 좌우 볼 마커를 지나게 조정하였으며 이 두 볼 마커를 축으로 하여 두부영상을 상방 또는 하방으로 수직회전시켜 HPA의 와이어가 앞뒤로 수평이 되게 한 후 정모두부방사선사진영상을 형성하였다. X-ray generator의 환경설정을 camera to film은 1,650 mm, ear rod to film은 150 mm로 하여 실제 정모두부방사선규격사진과 동일한 확대율(110%)이 되도록 하였다 (Fig 3).

콘빔CT 영상으로부터 형성한 정모두부방사선사진 영상과 실제 정모두부방사선규격사진의 비교

실제 정모두부방사선규격사진과 콘빔CT 영상으

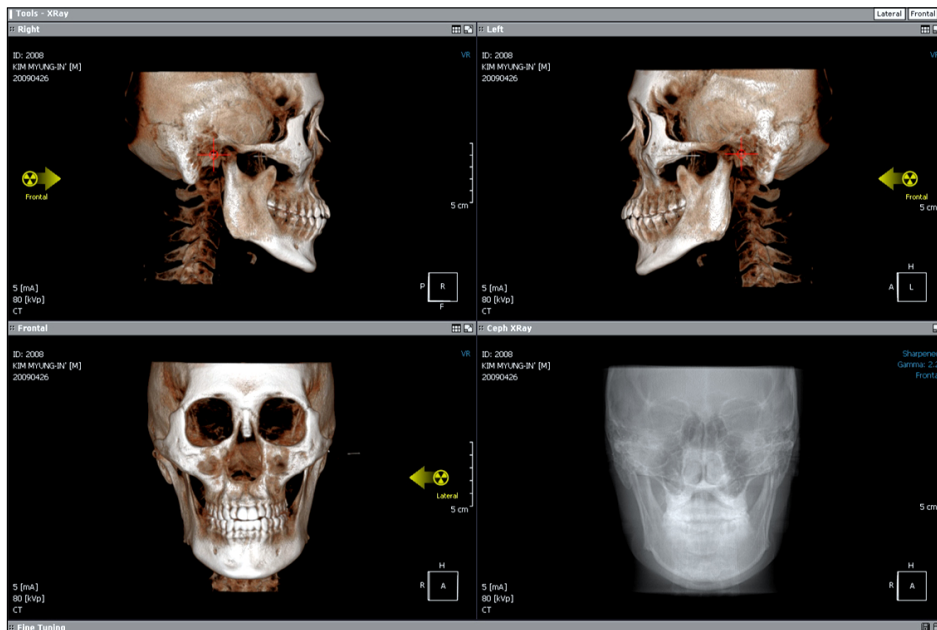


Fig 3. This window shows procedure of virtual frontal cephalogram generated from 3D volume rendering image. Virtual central ray is geometrized by using right and left ball markers of the reference ear plug (top left and right). Then the vertical head rotation is determined with the help of the HPA; The image is rotated upward or downward on the axis of virtual central ray so the wire indicator in the HPA is leveled horizontally (bottom left). Using the function of the program, virtual frontal cephalogram is created (bottom right).

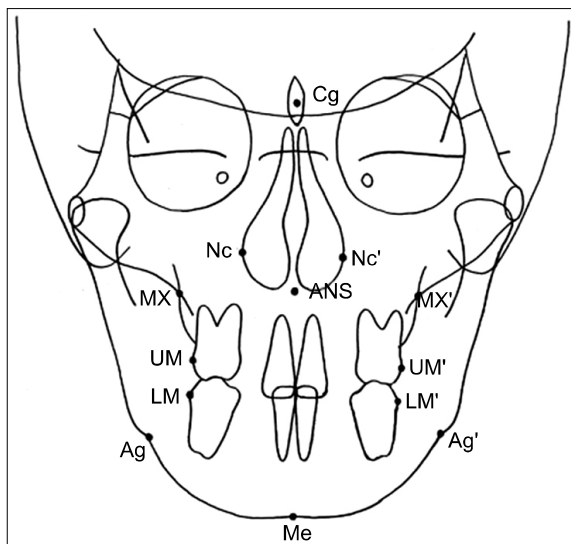


Fig 4. Anatomic landmarks used in this study. Cg, crista galli; ANS, anterior nasal spine; NC, right nasal cavity; NC', left nasal cavity; Mx, right maxillare; Mx', left maxillare; UM, upper right first molar; UM', upper left first molar; LM, lower right first molar; LM', lower left first molar; Ag, right antegonion; Ag', left antegonion; Me, menton.

로부터 형성한 두 장의 정모두부방사선사진영상 각각에 교정용 영상진단 프로그램(V-ceph™ 4.0, Cyber-Med Inc., Seoul, Korea)을 이용하여 Fig 4와 같이 13개의 계측점을 설정하고 crista galli와 anterior nasal spine을 연결한 선을 정중 시상 기준선(midsagittal reference line, MSR)으로, 이에 수직이며 crista galli를 지나는 선을 수평기준선(horizontal reference line, HR)으로 정하고 Fig 5와 같이 7개의 고경계측항목과 5개의 폭경계측항목을 0.1 mm 단위로, 6개의 각도계측항목을 0.1° 단위로 각각 측정하였다. 각도계측항목 중 menton의 변위를 나타내는 계측치인 $\angle Cg-Me$ to MSR과 $\angle ANS-Me$ to MSR은 menton이 우측으로 변위된 경우는 -로, 좌측으로 변위된 경우는 +로 표시하였다 (Figs 4 and 5).

실제 정모두부방사선규격사진과 HPA를 이용하지 않은 콘빔CT 정모두부방사선사진영상 그리고 HPA를 이용한 콘빔CT 정모두부방사선사진영상 각각으로부터 계측치의 평균과 표준편차를 구하였다. 그리고 HPA를 이용한 또는 이용하지 않은 콘빔CT 정모두부방사선사진영상과 실제 정모두부방사선규격사진 계측치 간의 차이를 구하고 각각 one-sample

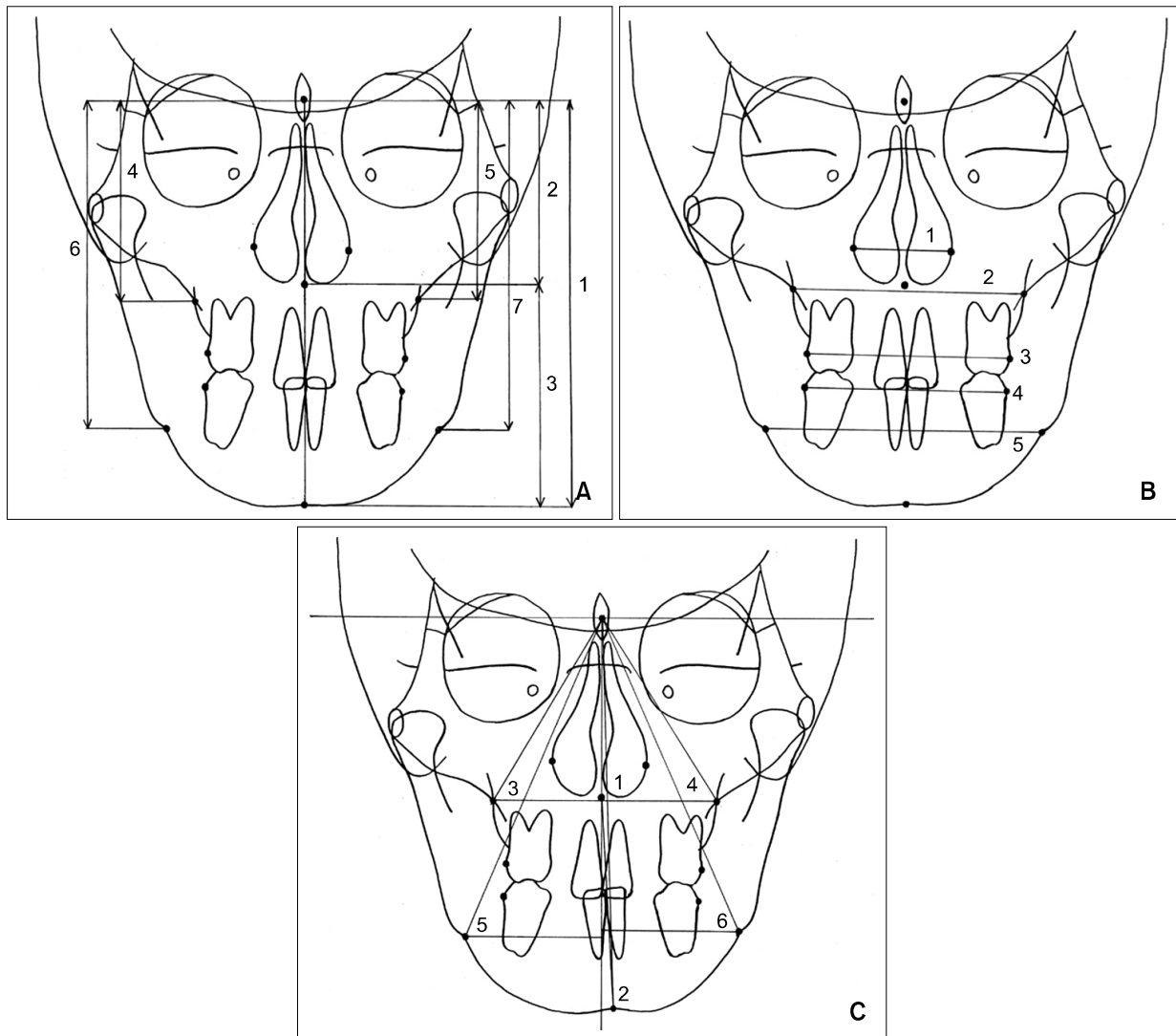


Fig 5. A, Height measurements: 1, total facial height (Cg-Me); 2, upper facial height (Cg-ANS); 3, lower facial height (ANS-Me); 4, right maxillary height (Mx to HR); 5, left maxillary height (Mx' to HR); 6, right ramus height (Ag to HR); 7, left ramus height (Ag' to HR). **B**, Width measurements: 1, nasal width (NC-NC'); 2, maxillary width (Mx-Mx'); 3, maxillary intermolar width (UM-UM'); 4, mandibular intermolar width (LM-LM'); 5, mandibular width (Ag-Ag'). **C**, Angular measurements: 1, \angle Cg-Me to MSR; 2, \angle ANS-Me to MSR; 3, \angle Cg-Mx to HR; 4, \angle Cg-Mx' to HR; 5, \angle Cg-Ag to HR; 6, \angle Cg-Ag' to HR (the same abbreviation as Fig 4).

t-test를 시행하여 참값으로 정한 실제 정모두부방사선규격사진 계측치와 차이가 있는지를 검정하였다. 또한 HPA를 이용한 또는 이용하지 않은 콘빔CT 정모두부방사선사진영상 계측치와 실제 정모두부방사선규격사진 계측치와의 상관성 정도를 비교하기 위해 Pearson 상관분석을 각각 시행하였다. 본 연구에서는 통계처리를 위해 SPSS (Version 17.0, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다.

한편 HPA를 이용한 경우의 콘빔CT 영상으로부터 정모두부방사선사진영상 형성의 method error를 알아보기 위해 임의로 선택한 10개의 콘빔CT 영상을 이용하여 2주 간격으로 2회의 정모두부방사선사진영상을 형성한 다음, 계측점을 설정하고 계측치를 측정한 후 그 오차를 Dahlberg식¹⁹을 이용하여 산출한 결과, 거리계측항목은 0.41 - 0.87 mm 범위로, 각도계측항목은 0.46 - 0.79° 범위의 비교적 작은 값

을 보였다.

연구성적

30명의 연구대상자의 실제 정모두부방사선규격 사진과 HPA를 이용하지 않고 촬영한 콘빔CT 정모두부방사선사진영상 그리고 HPA를 이용하여 촬영한 콘빔CT 정모두부방사선사진영상의 각 항목별로 평균과 표준편차를 산출하여 Table 1의 결과를 얻었다 (Table 1).

HPA를 이용한 또는 이용하지 않은 콘빔CT 정모두부방사선사진영상 측정치와 실제 정모두부방사선규격사진 측정치와의 차이를 각각 구하고 평균과 표준편차를 산출하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 고경계측항목에서는 HPA를 이용하지 않은 경

우 Total facial height, Ramus height (R), Ramus height (L) 3가지 항목에서 통계적 유의차를 보였지만, HPA를 이용한 경우에는 통계적 유의차를 보이는 항목이 없었다. 폭경계측항목에서도 HPA를 이용하지 않은 경우 Maxillary width, Maxillary intermolar width, Mandibular intermolar width, Mandibular width 4가지 항목에서 통계적 유의차를 보인 반면, HPA를 이용한 경우에는 통계적 유의차를 보이는 항목이 없었다. 각도계측항목 또한 HPA를 이용하지 않은 경우 \angle Cg-Mx to HR (R), \angle Cg-Mx to HR (L), \angle Cg-Ag to HR (R), \angle Cg-Ag to HR (L) 4가지 항목에서 통계적 유의차를 보인 반면, HPA를 이용한 경우에는 모든 항목에서 통계적 유의차를 보이지 않았다 (Table 2).

HPA를 이용한 또는 이용하지 않은 콘빔CT 정모

Table 1. Data from real and virtual cephalograms with/without the use of HPA

	Real cephalogram	Virtual cephalogram	
		Without HPA	With HPA
Height measurements			
Total facial height	122.6 ± 7.1	123.8 ± 7.6	122.7 ± 7.0
Upper facial height	53.3 ± 4.3	53.8 ± 4.4	52.9 ± 4.2
Lower facial height	69.4 ± 4.3	69.9 ± 5.3	69.8 ± 4.4
Maxillary height (R)	54.8 ± 5.3	55.9 ± 6.5	54.9 ± 5.5
Maxillary height (L)	54.2 ± 4.1	54.3 ± 4.9	54.2 ± 4.0
Ramus height (R)	101.2 ± 7.9	101.7 ± 7.9	101.3 ± 7.8
Ramus height (L)	99.9 ± 6.9	101.5 ± 6.3	99.6 ± 7.1
Width measurements			
Nasal width	35.5 ± 3.5	35.7 ± 3.5	35.4 ± 3.6
Maxillary width	71.7 ± 4.4	70.4 ± 4.9	71.5 ± 4.5
Maxillary intermolar width	67.6 ± 6.2	66.0 ± 6.1	67.3 ± 6.3
Mandibular intermolar width	65.6 ± 5.5	64.4 ± 7.6	65.2 ± 5.4
Mandibular width	95.2 ± 4.3	93.8 ± 5.8	94.8 ± 4.6
Angular measurements			
\angle Cg-Me to MSR	0.4 ± 1.7	0.6 ± 2.1	0.2 ± 1.5
\angle ANS-Me to MSR	0.7 ± 2.9	0.9 ± 2.8	0.6 ± 2.7
\angle Cg-Mx to HR (R)	56.8 ± 3.0	57.7 ± 3.4	57.2 ± 2.9
\angle Cg-Mx to HR (L)	56.2 ± 2.6	56.8 ± 2.5	56.4 ± 2.5
\angle Cg-Ag to HR (R)	65.1 ± 2.6	66.1 ± 4.7	65.2 ± 2.5
\angle Cg-Ag to HR (L)	64.1 ± 1.6	64.9 ± 5.1	64.7 ± 1.5

HPA, Head posture aligner; MSR, midsagittal reference line; HR, horizontal reference line; R, right; L, left. Means and standard deviations are shown (the same abbreviation as Fig 4, unit: mm).

Table 2. Difference of virtual cephalograms with/without HPA measurements with real cephalograms

	Without HPA			With HPA		
	Mean	SD	Significance	Mean	SD	Significance
Height measurements						
Total facial height	1.2	4.1	†	0.2	1.0	NS
Upper facial height	0.5	2.4	NS	-0.3	1.0	NS
Lower facial height	0.6	2.6	NS	0.5	0.8	NS
Maxillary height (R)	1.1	4.8	NS	0.2	0.9	NS
Maxillary height (L)	0.2	3.6	NS	0.0	0.7	NS
Ramus height (R)	1.3	4.5	*	0.1	0.7	NS
Ramus height (L)	1.5	4.1	*	-0.3	0.9	NS
Width measurements						
Nasal width	0.3	1.2	NS	-0.1	0.7	NS
Maxillary width	-1.2	2.4	†	-0.2	0.6	NS
Maxillary intermolar width	-1.6	3.3	*	-0.3	0.8	NS
Mandibular intermolar width	-1.2	4.1	*	-0.4	0.8	NS
Mandibular width	-1.5	3.9	*	-0.5	0.7	NS
Angular measurements						
∠Cg-Me to MSR	0.2	1.8	NS	-0.2	0.5	NS
∠ANS-Me to MSR	0.2	3.5	NS	-0.1	0.6	NS
∠Cg-Mx to HR (R)	0.9	2.2	*	0.4	1.0	NS
∠Cg-Mx to HR (L)	1.1	2.1	*	0.2	0.7	NS
∠Cg-Ag to HR (R)	1.0	4.6	*	0.1	0.7	NS
∠Cg-Ag to HR (L)	0.8	5.6	*	0.5	0.8	NS

One sample t-test evaluating difference between real and virtual cephalogram with/without HPA; NS, Not significant; * $p < 0.05$; † $p < 0.01$. HPA, Head posture aligner; MSR, midsagittal reference line; HR, horizontal reference line; R, right; L, left (the same abbreviation as Fig 4, unit: mm).

두부방사선사진영상 계측치와 실제 정모두부방사선규격사진 계측치와의 상관관계를 각각 분석하여 Table 3과 같은 결과를 얻었다. HPA를 이용한 콘빔CT 정모두부방사선사진영상이 HPA를 이용하지 않은 경우에 비해 모든 항목에서 실제 정모두부방사선규격사진과 높은 상관성을 보였다 (Table 3).

고찰

콘빔CT는 기존의 helical CT와 비교 시 낮은 방사선 노출량, 적은 비용, 적은 공간 차지 등 다양한 장점을 가지고 있어^{20,21} 차후 교정진단 및 치료 평가를 위해 이의 사용이 크게 늘어날 것으로 예상된다. 특히 컴퓨터 프로그램을 통해 3차원 영상으로부터 2차원 방사선사진 제작이 다양하게 시도되면서 미

래에는 콘빔CT 영상이 기존의 2차원 방사선사진을 대체할 것이라는 전망이 나오고 있다.²¹

한 번의 콘빔CT 촬영으로 기존의 2차원 방사선사진들을 대체하기 위해서는 기존의 자료와 비교 평가가 가능해야 한다. 특히 두부방사선규격사진은 두개 안면부의 성장과 발육의 이해, 두개 안면부와 치열과의 관계에 대한 분석, 교정치료 결과의 평가에 사용되므로 영상형성 시 규격사진의 개념이 필요하다. 즉 3차원 콘빔CT 영상으로 두부방사선사진형성을 위해서는 2차원 두부방사선규격사진 촬영 시와 동일한 geometry로의 제작이 필요하다. 그리하여 중심방사선(central ray)이 2차원 두부방사선규격사진과 같은 위치로 지나가게끔 영상을 형성하는 것이 필요하다. 즉모두부방사선사진 형성 시에는 중심방사선의 위치와 방향만 같게끔 하면 되는 반

Table 3. Correlation of virtual cephalogram with/without HPA with real cephalogram measurements

	Without HPA	With HPA
Height measurements		
Total facial height	0.843 [†]	0.990 [†]
Upper facial height	0.836 [†]	0.972 [†]
Lower facial height	0.876 [†]	0.981 [†]
Maxillary height (R)	0.686 [†]	0.988 [†]
Maxillary height (L)	0.697 [†]	0.985 [†]
Ramus height (R)	0.835 [†]	0.996 [†]
Ramus height (L)	0.814 [†]	0.992 [†]
Width measurements		
Nasal width	0.935 [†]	0.981 [†]
Maxillary width	0.874 [†]	0.990 [†]
Maxillary intermolar width	0.852 [†]	0.993 [†]
Mandibular intermolar width	0.855 [†]	0.989 [†]
Mandibular width	0.748 [†]	0.988 [†]
Angular measurements		
∠Cg-Me to MSR	0.566*	0.954 [†]
∠ANS-Me to MSR	0.291	0.977 [†]
∠Cg-Mx to HR (R)	0.760 [†]	0.949 [†]
∠Cg-Mx to HR (L)	0.655 [†]	0.965 [†]
∠Cg-Ag to HR (R)	0.321	0.963 [†]
∠Cg-Ag to HR (L)	0.227	0.923 [†]

HPA, Head posture aligner; MSR, midsagittal reference line; HR, horizontal reference line; R, right; L, left. * $p < 0.01$; [†] $p < 0.001$ (the same abbreviation as Fig 4, unit: mm).

면 정모두부방사선사진 형성을 위해서는 두부의 수직회전정도의 통일도 필요하다. 특히 최근 관심을 끌고 있는 이미지 시뮬레이션의 합성영상 제작을 위해서는 정면얼굴사진 촬영 시와 동일한 각도로의 영상형성이 반드시 필요하다.

국내에서 개발된 OnDemand3D™ Application (Cyber-Med Inc., Seoul, Korea) 프로그램은 2차원 두부방사선규격사진 촬영 시와 동일한 perspective view를 형성할 수 있는 알고리즘을 갖고 있어 기존 두부방사선규격사진과 같은 geometry의 2차원 사진을 형성할 수 있는 가능성을 제시하였다. 그러나 perspective view로 2차원 두부방사선사진영상을 형성할 경우 기존의 두부방사선사진 촬영 시와 동일한 기준축, 즉 동일하게 중심방사선을 설정해주는 것이 중요하

나 기존의 연구^{11,13,14}에서는 이에 대한 고려가 전무한 실정이다.

CT영상에서 중심방사선을 형성할 수 있는 한 방법으로 최근 Hwang¹⁸은 Reference ear plug를 고안 발표하였다. 외이도에 삽입되도록 디자인된 고무재질의 귀마개 중앙에 직경 1.0 mm의 티타늄 볼 마커를 넣어 콘빔CT 영상에서 2차원 두부방사선사진 촬영 시의 ear rod를 재현함으로써 콘빔CT 두부방사선사진영상 형성 시 실제 두부방사선규격사진 촬영 시와 동일한 기준축을 재현하는 것이 가능하게 되었다.

최근 van Vlijmen 등¹⁶은 건조 두개골의 콘빔CT영상을 이용해 정모두부방사선사진영상 형성을 시도하였는데 측모두부방사선사진영상 형성 시와는 달리 실제 정모두부방사선규격사진과 통계적으로 유의한 차이가 있음을 발표하였다. 그리고 그들은 이러한 차이는 정모두부방사선규격사진 촬영 시의 건조 두개골의 두부자세를 콘빔CT 촬영 시에 정확히 재현할 수 없었기 때문이라고 보고하였다.

본 연구에서는 두부자세를 일정하게 재현하기 위해 Showfety 등²²과 Kim과 Hwang¹⁷의 두부자세재현기를 응용하여 제작한 HPA를 사용하였다. 이들은 두부자세재현기를 장착하고 일정한 두부자세를 재현시킨 상태에서 촬영한 반면 본 연구에서는 물방울수평계와 평행하게 부착한 와이어가 있는 디자인의 HPA를 사용함으로써 실제 CT 촬영 시에는 두부자세재현이 필요하지 않도록 하였다. 즉 두부자세재현기 장착 후 와이어와 함께 움직이는 물방울수평계를 이용하여 두부자세를 일단 조정해 놓으면 실제 촬영 시에는 어떠한 두부자세라 할지라도 volume rendering 영상에 나타난 와이어 indicator를 이용하여 volume rendering 영상의 두부를 수직회전시켜 이전의 두부자세를 재현할 수 있도록 하였다. 실제 콘빔CT를 촬영할 때 정확한 영상을 채득하기 위해 필요한 것 중 하나가 피검자의 움직임에 의한 오차의 최소화이므로 촬영 시 피검자의 두부를 고정하는 것이 필요한 반면, 피검자의 두부를 일정한 자세로 고정한다는 것이 임상적으로는 매우 번거로운 일이 될 수 있다. 그러나 와이어 indicator가 포함된 HPA를 사용함으로써 두부자세재현 없이 그냥 고정만 하면 되는 본 방법은 매우 편리하여 본 기구의 그리고 나아가 콘빔CT의 저변 확대 및 보급에 크게 기여할 수 있으리라 기대한다.

한편 종래와 같이 HPA를 이용하여 두부방사선사진과 얼굴광학사진만 채득하는 경우에는 같은 날

이러한 영상들을 같은 두부자세에서 채득할 수 있는 장점은 보장되나, 상당양의 교정치료나 악교정 수술에 의해 자연두부자세가 변화하는 경우에는 ear rod에 의해 두부의 측방회전은 고정되어 측모두부방사선사진을 통한 비교에는 큰 문제가 없으나 수직회전 정도의 차이에 의해 정모두부방사선사진을 통한 정확한 비교나 중첩은 현실적으로 다소의 문제를 내포하고 있었다. 그러나 본 연구에서와 같이 HPA를 부착하고 콘빔CT 영상을 채득한 경우에는 이전의 측모두부방사선사진과 이후의 콘빔CT 영상에서 형성한 2차원 측모두부방사선사진영상을 통해 해부학적 구조물과 HPA 내의 와이어 indicator 간의 위치관계 변화를 이용하여 두부의 수직회전 정도 차이를 측정할 수 있고 이 수치를 이용하여 콘빔CT 영상에서 두부의 수직회전 정도를 변경하고 2차원 정모두부방사선사진을 형성함으로써 이전의 두부자세와 동일한 정모두부방사선사진영상을 형성할 수 있다는 부가적 장점을 지니고 있다. 즉 HPA를 이용하여 콘빔CT 영상을 채득할 경우 기존의 여러 가지 2차원사진 촬영 필요성을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3차원 영상프로그램을 이용하여 HPA를 이용하지 않은 경우와 HPA를 이용한 경우 각각에서 2차원 정모두부방사선사진영상을 형성한 다음 각각의 투사도를 작성하고 실제로 촬영된 정모두부방사선사진 투사도와 차이를 비교한 결과 고경계측항목에서는 HPA를 이용하지 않은 경우 Total facial height, Ramus height (R) 그리고 Ramus height (L) 세 항목에서 실제 정모두부방사선규격사진과 차이가 있었지만, HPA를 이용한 경우는 통계적 유의차를 보이는 항목이 없었다. Upper faical height와 Lower facial height의 차이의 합이 Total facial height 차이로 나타나게 되어 상하 각각의 안면 고경의 차이는 통계적 유의차가 없으나 전체 안면 고경은 통계적 유의차가 나타나는 것으로 생각되었다. 좌우 상악 고경은 차이가 없었으나 좌우 하악지 고경은 차이가 있는 것은 방사선중심원에서 멀어질수록 두부자세에 의한 영향이 커져서 계측치 간 차이가 커지는 것으로 생각하였다.

폭경계측항목에서도 HPA를 이용하지 않은 경우 Nasal width를 제외한 네 항목에서 실제 정모두부방사선규격사진과 차이가 있는 것으로 나왔지만 HPA를 이용한 경우는 통계적 유의차를 보이는 항목이 없었다. 이는 HPA를 이용하지 않은 경우 콘빔CT 정모두부방사선사진영상 형성 시 virtual central ray

조정 없이 촬영 시의 두부자세로 정모두부방사선사진 영상을 형성하게 되어 두부의 수평회전에 의한 차이에 기인한 결과로 생각하였다.

각도계측항목 또한 HPA를 이용하지 않은 경우 $\angle Cg-Mx$ to HR (R), $\angle Cg-Mx$ to HR (L), $\angle Cg-Ag$ to HR (R), $\angle Cg-Ag$ to HR (L) 네 항목에서 실제 정모두부방사선규격사진과 차이가 있는 것으로 나왔지만 HPA를 이용한 경우는 통계적 유의차를 보이는 항목이 없었다. 통계적 유의차를 보이지 않은 $\angle Cg-Me$ to MSR, $\angle ANS-Me$ to MSR는 모두 악골의 중앙 부위에 위치한 계측항목이고 대상자 대부분이 큰 안면비대칭을 보이지 않아서 통계적 유의차가 없었던 것으로 생각되나 만약 안면비대칭이 심한 환자들을 대상으로 연구하였다면 더 큰 차이를 보였을 것으로 생각된다.

Pearson 상관분석에서 거리계측항목은 HPA를 이용하지 않은 경우에도 비교적 높은 상관성(0.743 - 0.935)을 보였으나 각도계측항목은 비교적 낮은 상관성(0.227 - 0.761)을 보였다. $\angle Cg-Me$ to MSR, $\angle ANS-Me$ to MSR는 악골의 중앙 부위의 각도계측항목인데 HPA를 이용하지 않은 경우 연구대상의 3차원적인 두부자세 차이에 따라 좌우 편위 방향이 일관성 없이 바뀌게 되어 상관성이 낮아진 것으로 생각되었다. HPA를 이용하지 않은 경우 상악의 형태를 나타내는 각도계측항목인 $\angle Cg-Mx$ to HR에 비해 하악의 형태를 나타내는 각도계측항목인 $\angle Cg-Ag$ to HR이 상관성이 낮았는데 이는 환자의 3차원적인 두부자세 변화에 의한 변화가 하악에서 더 큰 차이를 나타냈을 것이고, Ag의 계측점이 불명확하여 이에 따른 오차도 영향을 주었으리라 생각한다.

본 연구의 결과는 3차원 콘빔CT 영상을 이용하여 2차원 정모두부방사선사진영상 형성 시 정확한 영상 획득을 위해서는 콘빔CT 촬영 시 Reference ear plug와 HPA의 사용이 필요함을 보여주었다. 특히 Reference ear plug와 HPA는 제조회사마다 다양한 콘빔CT의 두부고정방법에 상관없이 적용할 수 있고 고가의 비용이 들거나 그 술식이 복잡한 것이 아니므로 콘빔CT의 표준 촬영법으로 쉽게 활용될 수 있으리라 기대한다.

결론

먼저 일반적인 방법으로 콘빔CT 영상을, 그리고 HPA를 이용하여 일정한 두부자세를 재현한 상태에서 또 하나의 콘빔CT 영상 및 정모두부방사선사진

을 촬영한 후, 3차원 영상프로그램을 이용하여 HPA를 이용하지 않은 경우와 HPA를 이용한 경우 각각에서 2차원 정모두부방사선사진영상을 형성한 다음 각각의 투사도를 작성하고 실제로 촬영된 정모두부방사선사진 투사도와 차이를 비교분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. HPA를 이용하지 않은 경우 실제 정모두부방사선 사진과 비교 시 7개의 고경계측항목 중 3개의 항목에서, 5개의 폭경계측항목 중 4개 항목에서, 6개의 각도계측항목 중에서는 4개의 항목 등 다수의 계측항목에서 통계적 유의차가 있었다.
2. HPA를 이용한 경우 실제 정모두부방사선사진과 비교 시 모든 거리계측항목과 각도계측항목에서 통계적 유의차를 보이지 않았다.
3. 실제 정모두부방사선사진과의 상관관계를 알아 보기 위해 Pearson 상관분석을 시행한 결과 HPA를 이용한 경우가 HPA를 이용하지 않은 경우보다 모든 항목에서 높은 상관성을 보였다.

이상의 결과는 3차원 콘빔CT 영상을 이용하여 2차원 정모두부방사선사진영상 형성 시 정확한 영상 획득을 위해서는 콘빔CT 촬영 시 HPA의 사용이 필요함을 시사하였다.

참고문헌

1. Vannier MW, Marsh JL, Warren JO. Three dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology* 1984;150:179-84.
2. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8: 1558-64.
3. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:508-13.
4. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose cone beam CT. *Eur J Radiol* 2005;56:413-7.
5. Swennen GR, Schutyser F. Three-dimensional cephalometry: spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:410-6.
6. Hechler SL. Cone-beam CT: applications in orthodontics. *Dent Clin North Am* 2008;52:809-23.

7. Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:395-7.
8. Mah J, Hatcher D. Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003;6:179-82.
9. Farman AG, Scarfe WC. Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:257-65.
10. Moshiri M, Scarfe WC, Hilgers ML, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG. Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132:550-60.
11. Kumar V, Ludlow JB, Mol A, Cevidanes LH. Comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:263-9.
12. van Vlijmen OJ, Bergé SJ, Swennen GR, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. Comparison of cephalometric radiographs obtained from cone-beam computed tomography scans and conventional radiographs. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:92-7.
13. Kang JY, Lim SH, Kim KW. The reliability of the cephalogram generated from cone-beam CT. *Korean J Orthod* 2007; 37:391-9.
14. Kumar V, Ludlow J, Soares Cevidanes LH, Mol A. In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Angle Orthod* 2008;78:873-9.
15. Cattaneo PM, Bloch CB, Calmar D, Hjortshøj M, Melsen B. Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:798-802.
16. van Vlijmen OJ, Bergé SJ, Bronkhorst EM, Swennen GR, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. A comparison of frontal radiographs obtained from cone beam CT scans and conventional frontal radiographs of human skulls. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:773-8.
17. Kim EH, Hwang HS. The validity of Head Posture Aligner in posteroanterior cephalometry. *Korean J Orthod* 2000;30:543-52.
18. Hwang HS. Ear plug for forming reference axis in CT taking. Korean Patent 10-0884354, 2009.
19. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. London: George Allen & Unwin Ltd.; 1940. p. 122-32.
20. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 2006;72:75-80.
21. Cattaneo PM, Melsen B. The use of cone-beam computed tomography in an orthodontic department in between research and daily clinic. *World J Orthod* 2008;9:269-82.
22. Showfety KJ, Vig PS, Matteson S. A simple method for taking natural-head-position cephalograms. *Am J Orthod* 1983;83:495-500.

Use of Head Posture Aligner to improve accuracy of frontal cephalograms generated from cone-beam CT scans

Min-Kyu Sun, DDS, MSD,^a Gi-Soo Uhm, DDS,^a Jin-Hyoung Cho, DDS, MSD, PhD,^b
Hyeon-Shik Hwang, DDS, MSD, PhD^c

Objective: The purpose of the present study was to evaluate the effectiveness of the use of Head Posture Aligner (HPA) during cone-beam computed tomography (CBCT) scan in generation of frontal cephalograms using 3D CBCT images. **Methods:** CBCT scans and frontal cephalograms were made in 30 adult individuals. While a couple of CBCT scan was made for one subject, one was made with conventional method, without use of HPA, the other was acquired with the use of HPA. After creation of virtual frontal cephalogram from each 3D CBCT image, it was traced and compared with the tracing of real frontal cephalogram. **Results:** In the comparison of the measurements, the virtual cephalograms with the use of HPA did not show statistically significant differences with the real cephalograms whereas the virtual cephalograms without the use of HPA presented significant differences with real cephalograms in many measurements. In the correlation analysis with the measurements of the real cephalograms, the virtual cephalograms with the use of HPA showed higher correlations in all measurements than the virtual cephalograms without the use of HPA. **Conclusions:** Measurements from CBCT-generated cephalograms become similar to those from real cephalograms with the use of HPA during CBCT scan. Thus, the use of HPA is suggested during the CBCT scan in order to construct accurate virtual frontal cephalograms using 3D CBCT images. (*Korean J Orthod* 2009;39(5):289-299)

Key words: Cone-beam CT, Virtual frontal cephalogram, Head Posture Aligner

^aGraduate Student, ^bAssistant Professor, ^cProfessor, Department of Orthodontics, 2nd Stage of Brain Korea 21, Dental Science Research Institute, School of Dentistry, Chonnam National University.

Corresponding author: **Hyeon-Shik Hwang.**

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chonnam National University, 300, Yongbong-dong, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea.

+82 62 530 5656; e-mail, hhwang@chonnam.ac.kr.

Received August 19, 2009; Last Revision October 9, 2009; Accepted October 11, 2009.