

파노라마방사선사진과 다면상재구성 CT상의 치조골 높이 계측에 대한 비교 연구

원광대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, *경희대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
지정현 · 이상래* · 이병도

Comparative study on alveolar bone height of pantomography and multiplanar reformatted computed tomography

Jung-Hyun Ji, Sang-Rae Lee*, Byung-Do Lee

Department of Oral & Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Wonkwang University

*Department of Oral & Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Kyunghee University

ABSTRACT

Purpose : To compare alveolar bony height of pantomograph with bony height of thin slice, multiplanar reformatted (MPR) Computed Tomograph.

Materials and Methods : Panoramic radiograms of 12 young adult patients had been taken by one radiologic technician and the measurements were corrected by magnification ratio (1.20). The slice thickness of Multi-detector Computed Tomography (CT) was at least 1mm for the accuracy. The raw CT datas were imported into the V-works 4.0 (CyberMed Corp., Seoul, Korea) and transformed to MPR images. Pantomographic measurements of alveolar bone were compared to CT values by average mean bony height measurements for the accuracy. Inter-, and Intra-observer variability was evaluated.

Results : There was no significant differences between height measurement of pantomography and that of CT ($P > 0.05$). There were no significant differences in either inter- or intra-observer measurements ($P > 0.05$).

Conclusion : Pantomography showed relatively high accuracy and precision in measuring alveolar bony height. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2004; 34 :159-64)

KEY WORDS : Tomography, X-ray Computed; Radiography, Panoramic

서 론

현재 치과 임상에서는 골유착성 인공치아매식술 등의 활용도가 증가하고 있으며^{1,2} 인공치 매식시 중요한 해부학적 구조물인 상악동, 하악관 등의 위치 파악이나 고정측정 등에 파노라마 방사선사진이 이용되는 경우가 많다.³⁻⁵

파노라마 방사선사진은 촬영술식이 간단하고 촬영비용이 상대적으로 저렴하며 전악촬영이 가능하다는 장점이 있다.^{6,7} 그러나 방사선 사진상의 확대나 변형 등이 생길 수

있고^{8,9} 협설측 골의 폭경측정이 곤란하며^{10,11} 하악관 등의 해부학적 구조물을 명확하게 인지하기가 곤란한 경우가 종종 있는데 이러한 경우에 전산화단층촬영술 (Computed Tomography, CT)을 추가로 이용할 수 있다.^{4,10,12,13}

전산화단층촬영술은 해부학적 구조물을 중첩이 없이 명확하게 판별할 수 있고, 고대조도의 해상도를 보이므로 연조직 등의 판독에 유리하다.¹⁴ 최근에는 나선형 CT나 multi-detector (MD) CT의 등장으로 인해 신속한 촬영이 가능해졌으며 이로 인해 환자의 방사선 피폭량도 상당부분 감소시킬 수 있게 되었다.¹⁵ 또한 컴퓨터 소프트웨어의 발전으로 인해 다면상재구성법 (multiplanar reformatting, MPR)이나 3차원 CT영상의 생성이 가능하게 되었다.¹⁶ CT 다면상재구성상이 생성된다면 협설측 폭경측정 등이 가능하며 거리 계측이 비교적 정확하게 이루어지는 장점이 있다. 하악골의 길이 계측치의 정확도에 관한 연구에서 최와 유¹⁷는 재구성

이 논문은 2002년도 원광대학교 승산연구기금 지원에 의하여 연구됨
접수일 : 2004년 6월 8일; 심사일 : 2004년 6월 9일; 채택일 : 2004년 7월 23일
Correspondence to : Prof. Byung-Do Lee
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Wonkwang University, 344-2, Shinyong dong, Iksan city, Chunbuk, Korea. 570-711
Tel) 82-63-850-1912, Fax) 82-63-857-4002
E-mail) eebydo@wonkwang.ac.kr

전산화 단층사진의 오차가 0.6 mm를, Cavalcanti 등¹⁸은 0.25 mm를 보인다고 하여 다면상재구성 CT상에서의 길이 계측은 비교적 정확하다고 보고한 바 있다.

인공치아 매식술 등을 시행하고자 할 때 매식가능한 악골 고경을 사전평가 하는 것이 매우 중요하며 파노라마 방사선 사진상과 CT영상에서의 악골 고경을 비교한 연구가 다양하게 보고되어 왔다. Lam 등¹¹은 파노라마상과 CT상의 고경치 비교시 유의할 만한 차이를 나타낸다고 하였으며 Klinge 등¹⁴은 치조정-하악관간의 거리 계측시 실측치와의 오차범위가 1 mm 이내인 경우가 파노라마 방사선사진 17%, 전산화 단층사진 94%로 전산화단층사진이 더 정확하였다고 보고하였다. 그러나 Tal 등⁴은 무치악 환자의 치조정에서 하악관 상연까지의 거리를 파노라마와 CT상에서 측정 비교한 결과, 파노라마상의 계측치가 CT상의 길이보다 0.1 mm 정도 길게 측정되었으나 통계적으로 유의할 만한 차이를 나타내지 않는다고 보고한 바 있다.

CT영상에서의 길이 계측은 비교적 정확하다고 알려져 있으나 절편두께 등이 계측 정확성에 영향을 미칠 수 있다. 즉 절편두께가 클 경우에는 불균등용적평균(partial volume averaging effect)이 발생하여 판독능이 저하되므로 계측점 인식이 어려워질 수 있다. 그동안 CT영상을 이용한 연구가 대부분 절편 두께 2mm 이상이거나 불연속적인 단면상을 이용한 연구였으나 최근에는 MD CT의 등장으로 보다 얇은 절편두께의 CT영상 구현이 가능해졌으며 3차원 의학영상 프로그램을 이용하는 경우 방사선투과상 조정¹⁹이 가능해짐에 따라 관심부위의 선명한 영상을 기대할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 MD CT를 이용함으로써 절편두께를 1 mm 이하로 설정할 수 있었고 3차원 의학영상 프로그램을 응용하여 다면상재구성을 생성시킨 CT영상을 기준으로 파노라마 방사선 사진상의 치조골 고경계측치의 정확성을 평가하여 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하

는 바이다.

대상 및 방법

원광대 치과병원에 내원한 환자중 파노라마 촬영을 하고 절편두께 1 mm 이하로 MD CT 촬영을 한 환자 16명(남자 7명, 여자 9명)의 영상을 대상으로 하였다. 이 중 상악동 저 및 하악관의 위치를 판독하기 어려울 정도의 파노라마의 심한 확대 및 변형을 보인 4명의 영상은 연구에서 제외되었으며 상악동저 및 하악관 상벽이 어느 정도 관찰 가능한 12명 환자의 영상들을 후향적(retrospectively)으로 조사하였다. 남성의 평균연령은 27세, 여성의 평균 연령은 18세이었고 연구대상 모든 환자는 구강위생상태가 양호하여 치조골 소실이 없거나 미약하였다.

파노라마 촬영은 ProMax with Dimax3 (Planmeca®, Helsinki, Finland)가 사용되었고 Pi-view 프로그램 (Infinit Corp., Seoul, Korea) 내의 계측 software를 이용하여 컴퓨터 모니터상에서 고경 계측이 이루어졌다. 본 연구에 사용된 파노라마 기계는 피사체가 상층내에 적절히 위치될 때는 약 20%의 X-선 사진 고경확대율을 나타내며 이를 확인하기 위해 전조두개골에 납박(lead foil)을 부착한 후 파노라마 촬영하여 확대율을 측정해본 결과 평균 120% 정도의 고경확대율이 있음을 확인하였고, 일률적으로 120%의 파노라마 확대율을 적용, 고경치를 보정하였다. 고경 측정 대상 부위는 빈번하게 인공치 매식술이 이루어지는 상, 하악 제1대구치의 치조골 영상들을 이용 하였다. 상악 좌, 우 제1대구치의 치경부와 치조골이 만나는 부위를 근심과 원심에서 각각 설정한 후 이 부위로부터 상악동저(maxillary sinus floor)까지의 최단거리를 측정하였다. 하악 골 높이 계측 역시 하악 좌, 우 제1대구치의 치경부와 치조골이 만나는 부위를 근심과 원심에서 각각 설정한 후 이 부위로



Fig. 1. Alveolar bony height measurement from the mesio-cervical point of right maxillary first molar to the maxillary sinus floor, from the mesio-cervical point of left mandibular first molar to superior portion of inferior alveolar canal at short distance on panoramic view.

부터 하악관 상방부위까지의 최단거리를 측정하였다(Fig. 1). 만약 제1대구치가 결손되어 있거나 상악동저, 하악관 상방부 등의 해부학적 구조물의 탐지가 어려울때는 인접 제2대구치부위를 대신 이용하였다.

전산화단층촬영은 multi detector system (Siemens Somatom Volume Zoom, Germany)이 이용되었다. 촬영조건은 140 kVp, 225mA, Table pitch 1.25의 촬영조건 하에서 reconstruction increment후의 절편두께가 모두 1 mm 이하이었으며 교합평면이 지평면과 수직이 되도록 위치시킨 영상들을 대상으로 하였다. CT실에서 획득된 자료는 V-works TM 4.0

(CyberMed Corp., Seoul, Korea) 3차원 의학영상 프로그램을 이용하여 횡단면, 관상면, 파노라마면 및 시상면 등의 다면상을 생성하였으며(Fig. 2) 파노라마 방사선 사진상에서 골 높이 계측이 이루어진 동일한 치아를 대상으로 시상면 CT상에서 골 높이 계측을 시행하였다(Fig. 3). 이 때의 시상면을 대상으로 한 이유는 파노라마 방사선 사진상이 제1대구치부위에서 측면상을 나타내기 때문이었다. 시상면 선택은, 다면상 기법에 의하여 생성되는 연속적인 시상면, 및 관상면상 및 파노라마상 등에서 관찰된 골 높이가 최소가 되는 단면을 선택한 상태에서 이루어졌으며 V-



Fig. 2. Multiplanar reconstructed images with the crosshair lines exactly located at the same point. Axial, coronal, sagittal and panoramic view on the V-work 4.0 (Cybermed Corp) image.

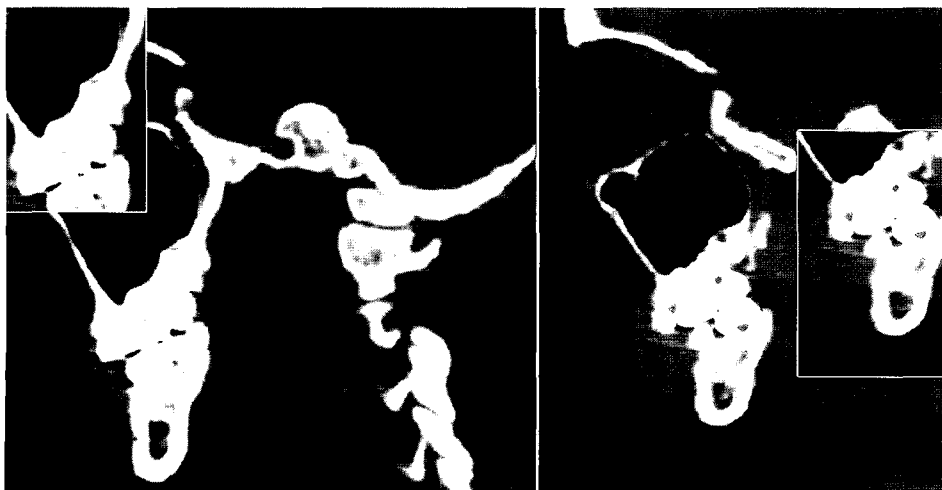


Fig. 3. Sagittal view showing the shortest distance between alveolar crest and maxillary sinus floor, between alveolar crest and inferior alveolar canal.

Table 1. Average measurements of the alveolar bone height by panoramic radiograph and MPR CT (mean height \pm standard deviation, mm)

Jaw		Panorama	MPR CT	P-value
Maxilla	#16 Mesial	7.11 \pm 2.24	7.88 \pm 2.56	0.853
	Distal	7.59 \pm 1.39	8.31 \pm 2.05	
	#26 Mesial	7.86 \pm 2.40	7.41 \pm 2.83	
	Distal	7.59 \pm 1.60	6.9 \pm 2.80	
	Average	7.54 \pm 1.91	7.62 \pm 2.55	
Mandible	#36 Mesial	18.77 \pm 3.19	18.55 \pm 3.24	0.159
	Distal	16.15 \pm 2.75	18.72 \pm 3.99	
	#46 Mesial	18.00 \pm 1.14	18.30 \pm 4.42	
	Distal	15.67 \pm 3.22	19.54 \pm 3.29	
	Average	17.15 \pm 3.24	18.1 \pm 3.59	

#16: Right maxillary first molar
 #26: Left maxillary first molar
 #36: Left mandibular first molar
 #46: Right mandibular first molar
 MPR CT: multiplanar reformatted computed tomograph

Table 2. Measurement difference between 2 observers

	Observer 1	Observer 2	P-value
Maxilla	1.71 \pm 2.06	1.23 \pm 1.24	0.169
Mandible	3.05 \pm 3.08	3.22 \pm 2.16	0.740

This measurement difference represents the absolute mean value that subtracted from panoramic height to multiplanar reformatted CT height (mm \pm standard deviation)

Table 3. Repeated measurements difference between 2 weeks interval of one observer

	1st measurement	2nd measurement	P-value
Maxilla	1.87 \pm 1.69	1.90 \pm 1.68	0.917
Mandible	3.47 \pm 2.48	3.59 \pm 3.02	0.818

This measurement difference represents the absolute mean value that subtracted from panoramic height to multiplanar reformatted CT height (mm \pm standard deviation)

works 프로그램의 Histogram기능을 이용하여 관심부위가 선명하게 보일 수 있도록 방사선투과상을 조정하였다. 파노라마와 CT상에서 측정된 96곳의 고경 평균을 상악과 하악골별로 계산하였고 Student t-test를 통하여 그 차이의 유의성 여부를 검증하였다. 측정의 재현성 평가를 위해 2명의 치과 의사가 96곳의 측정을 하고 파노라마 고경치와 CT상의 고경치 차이의 평균을 계산하여 관찰자간의 측정치 차이를 구하였고, 그 중 1명이 2주간격으로 2회 고경 측정을 반복하여 관찰자내의 측정치 차이를 평가하였다.

결 과

파노라마 방사선사진상의 치조골 높이가 다면상재구성 CT상의 치조골 높이에 비해 상하악골 공히 약간 짧은 계

측치를 보였으나 통계적 유의차는 없었다 ($P > 0.05$) (Table 1). 파노라마 방사선사진상과 CT상 고경 측정치에 대한 관찰자간 및 관찰자내의 측정차는 통계적으로 유의차를 보이지 않았으며 ($P > 0.05$) 상악에 비해 하악골에서 높은 측정차를 보였다 (Table 2, 3).

고 찰

파노라마 촬영법은 상층(focal trough)의 구조물이 선택적으로 촬영되는 기법으로 환자의 악골이 상층내에 제대로 위치되지 못하는 경우에는 변형된 상에 의해 정확도가 결여될 가능성이 상존한다. 또한 정확하게 환자 악골이 상층에 위치되는 경우에도 환자 악골 모양과 크기가 다양하기 때문에 방사선사진상의 왜곡이 일정 부분 나타날 가능성이 있다.²⁰ 따라서 임플란트 식립 등 정확한 길이 측정 등이 요구되는 시술시에는 금속구 등을 동시에 촬영하여 X-선사진 확대율을 보정해주는 과정이 필요하다.²¹

본 연구에서 상하악 제1대구치 파노라마 방사선사진상의 치조골 높이를 다면상재구성 CT상의 치조골 높이와 비교한 결과 CT상의 치조골 높이에 비해 파노라마 방사선사진상의 치조골 고경이 짧게 나타났으나 통계적 유의차는 없었다. Lam 등¹¹의 연구에서는 치조골 고경이 15 mm 이하인 경우, 파노라마에서 측정된 고경이 다면상재구성 CT상에서 측정된 고경보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다고 하였다. 본 연구에서는 치조골이 비교적 건강한 젊은 성인을 대상으로 하였기 때문에 하악 치조골 평균 고경이 15-17 mm 이상으로 측정되어 Lam 등의 연구와는 차이가 있었을 것으로 생각한다. 그러나 특히 하악골에서 CT에 대한 파노라마 방사선사진상의 측정오차가 3.8 mm 이상으로 크게 나타난 부위도 존재하였다. 이에 대해서는 여러가지 원인을 생각해볼 수 있겠으나 파노라마 방사선사진상에서 관찰되는 하악관의 불확실한 표현상이 주된 요인이었다고 사료된다. 일반적으로 파노라마 방사선사진상에서 하악관이 모두 관찰되는 것은 아니다. 하악관의 벽은 얇은 골판으로 이루어진 경우가 일반적이며 이 골판이 X선에 접선효과를 나타내지 않을 때는 X선 사진 상에서 아예 관찰되지 않거나, 불연속적으로 관찰된다.²² Littner 등,²³ Heasmon 등²⁴의 연구에서 하악골을 일반방사선사진 촬영한 결과 일부에서 하악관이 관찰되지 않는다고 하였으며, 이²⁵의 연구에서도 261예중 56예 (21.4%)의 하악관 상방부가 확실히 관찰되지 않았다. 이와 같이 파노라마 방사선사진상에서 하악관 상방부가 관찰되지 않는 경우가 적지 않기 때문에 실제 임상에서는 일반적인 하악관의 주행경로 또는 하악관 하방벽을 기준으로 상방벽을 추정하는 경우가 종종 있게 된다. 다면상재구성 CT영상에서는 비교적 하악관 인식이 용이하였으나 평균치에 대한 표준편차가 크게 나타난 것은 고경 측정 부위를 재현하기가 용이하지

않았음을 반증하는 결과라고 사료된다. 본 연구에서 관찰자간 및 관찰자내 계측치에 대한 재현성을 평가하기 위해 시행한 고정계측치 차이에 대한 연구 결과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며 이로 인해 계측자에 의한 재현성 오류는 무시할 수 있었으나 상악에 비해 하악골에서 계측 차이치가 크게 나타나 하악관의 인식이 쉽지 않음을 역시 반증하였다.

상악동은 상악 구치부와 인접해 있으며 상악동저와 상악 치근단간의 거리가 임상적으로 주된 관점이 되는 경우가 많다.²⁶ 일반적으로 상악동저는 사춘기에 비강저 수준에 도달하며 연령이 증가함에 따라 구치부에서는 비강저보다 훨씬 하방에 위치하게 된다. 본 연구에서 파노라마방사선 사진에서의 상악 치조골고경 측정치가 다평면재구성된 CT 사진에서 측정된 길이보다 짧게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

이 등²⁷의 연구에서 파노라마 방사선사진상에서의 상악 전치부 치조골 고경 측정치가 CT사진에서의 고경보다 길었고, 소구치, 구치부에서는 다소 짧게 나타났으나 통계적인 유의성은 없다고 했으며 치조골 흡수가 진행되어 해당 부위가 소환(burn-out)되는 경우에는 파노라마 방사선사진상에서의 고경 계측치가 상대적으로 감소되어 보일 수도 있다고 한 바 있다. 상악 치조골고경에 대한 본 연구는 치조골이 건강한 성인을 대상으로 하였기 때문에 측정 오차가 미미하게 나타난 것으로 생각되며, 치조골 소실이 미약할때는 파노라마 방사선사진에 의한 상악 고경 측정은 비교적 정확하게 이루어질 수 있다고 생각한다.

두부 위치가 파노라마 방사선사진상에서의 고경 계측치에 영향을 미칠 수도 있다. Xie 등²⁰은 머리위치가 파노라마 방사선사진상의 고경 계측에 미치는 연구에서, 상악 전치부의 고경 측정치는 영향을 받을 수 있으나 상하악골 구치부 등은 커다란 영향을 받지 않는다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 구치부가 측정 대상이었고 1인의 방사선 기사가 파노라마 기계 제조회사 지시에 따라 촬영하였기 때문에 두부위치 변화에 따른 측정오차는 크지 않았다고 사료된다. 파노라마 방사선사진상의 고경 계측에 영향을 미치는 또 다른 요소로는 파노라마 확대율이 있다. 금속구 등을 이용하여 개별보정을 한 조²⁸의 연구에서는 평균 0.8-1.3 mm의 작은 계측 오차를 보였으나 확대율을 일률적으로 적용한 경우에는^{21,29} 파노라마 방사선사진에서의 계측오차가 상대적으로 크게 나타났다고 하였다. 본 연구에서 개별보정을 하지 않은 이유는 금속구 등을 부착하지 않은 상태에서의 통상적으로 이루어지는 파노라마 고경 계측치의 정확성을 연구하기 위해 파노라마 기계 확대율 1.2를 적용하고 보정하였으며 앞으로 개별 보정을 통한 파노라마 방사선사진상과 다면상재구성 MD CT상의 고경치 비교 연구가 시행되면 보다 유용한 연구결과를 기대할 수 있을 것으로 생각한다.

다면상재구성상은 여러가지 임플란트 관련 소프트웨어(Toothpix, Simplant 등)나 3차원 의학영상 프로그램을 이용하여 생성이 가능하며 최근 다면상재구성법을 이용한 CT 영상과 임플란트 식립에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.^{13,30-32} Jacobs 등³³은 재구성된 CT가 골내 임플란트 위치, 수를 예측하는데 믿음만 하나 임플란트 크기나 복잡한 해부학적 구조물 등을 인식하는데는 더욱 많은 연구가 필요하다고 하였다. 그리고 Petrikowski 등³과 Quirynen 등³⁴은 임플란트 매식체가 구치부에서는 실제보다 짧게 식립하는 경향이 있으며 재구성된 CT상과 실제 골높이와는 0.4-0.5 mm discrepancy를 보이므로 1-2 mm safety margin이 필요하다고 하였다.¹⁴ CT 영상 계측치는 비교적 정확하다고 알려져 있으나 CT영상 부정확성을 야기할 요인들이 존재하고 있으며 특히 CT절편두께가 계측정확성 등에 영향을 미칠 수 있다. 디지털 영상의 기본단위는 화소(pixel)이며 이러한 화소는 일정한 크기를 갖게되기 때문에 불균등용적평균(partial volume averaging)이 적용된다. CT촬영시 절편두께는 통상 1-10 mm 정도의 범위를 가지게 되는데 이러한 절편 두께가 증가되면 이러한 불균등용적평균이 커지므로 해상도가 저하됨은 물론 계단 현상이 나타날 수 있으며 재구성된 CT영상에도 영향을 미치게 된다. 엄과 이³⁵의 전조두개골에 대한 3차원 CT영상모델의 정확성에 대한 연구 결과 절편두께 3 mm 영상모델에서는 해부학적 구조물들이 선명하지 않았으며 4 mm 절편 두께의 경우 해부학적 구조물들간의 거리 계측이 불가능할 정도로 화질이 저하되어 나타났다고 하였으며 Cavalcanti 등¹⁸은 절편두께 0.5 mm인 상태에서의 다면상재구성 전산화 단층상의 오차가 0.25 mm를 보인다고 하여 다면상재구성 CT상에서의 길이 계측은 비교적 정확하다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 절편두께를 1 mm 이하로 설정하였으므로 관상면 및 시상면 등의 상이 비교적 명확하였으며 이로 인해 CT상에서 치조골 고경 측정시 큰 어려움이 없었다.

본 연구의 결과 정상적인 치조골 높이를 가지는 환자의 상하악 대구치부에서 파노라마 방사선 사진법에 의한 치조골 고경 측정은 신뢰할 만하였고 특히 상악동 기저부 판독이 용이한 건강한 상악 치조골의 경우 고경측정 오차가 적었으며 각 파노라마 기종에 따른 확대율 개별보정이 적절하게 이루어지는 경우에는 더욱 정확한 측정이 이루어 질 수 있다고 하였다.

참 고 문 헌

1. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Branemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg* 1981; 10 : 387-416.
2. Andersson B, Odman P, Lindvall AM, Branemark PI. Five-year prospective study of prosthodontic and surgical single-tooth implant treatment in general practices and at a specialist clinic. *Int J Prosthodont*

- dont 1998; 11 : 351-5.
3. Petrikowski CG, Pharoah MJ, Schmitt A. Presurgical radiographic assessment for implants. *J Prosthet Dent* 1989; 61 : 59-64.
 4. Tal H, Moses O. A comparison of panoramic radiography with computed tomography in the planning of implant surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20 : 40-2.
 5. Sakakura CE, Morais JA, Loffredo LC, Scaf G. A survey of radiographic prescription in dental implant assessment. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 397-400.
 6. Advantages and disadvantages of the use of dental tomographic radiography. Council on Dental Materials and Devices. *J Am Dent Assoc* 1977; 94 : 147.
 7. Nilsson L, Rohlin M, Thapper K. Exposure distribution, absorbed doses, and energy imparted for panoramic radiography using Orthopantomograph model OP 5. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 59 : 212-9.
 8. Schiff T, D'Ambrosio J, Glass BJ, Langlais RP, McDavid WD. Common positioning and technical errors in panoramic radiography. *J Am Dent Assoc* 1986; 113 : 422-6.
 9. D'Ambrosio JA, Schiff TG, McDavid WD, Langland OE. Diagnostic quality versus patient exposure with five panoramic screen-film combinations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1986; 61 : 409-11.
 10. DelBalso AM, Hall RE. Advances in maxillofacial imaging. *Curr Probl Diagn Radiol* 1993; 22 : 91-142.
 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. Shimura M, Babbush CA, Majima H, Yanagisawa S, Sairenji E. Presurgical evaluation for dental implants using a reformatting program of computed tomography: maxilla/mandible shape pattern analysis (MSPA). *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5 : 175-81.
 13. Abrahams JJ. Anatomy of the jaw revisited with a dental CT software program. *AJNR Am J Neuroradiol* 1993; 14 : 979-90.
 14. Klinge B, Petersson A, Maly P. Location of the mandibular canal: comparison of macroscopic findings, conventional radiography, and computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989; 4 : 327-32.
 15. Heiken JP, Brink JA, Vannier MW. Spiral (helical) CT. *Radiology* 1993; 189 : 647-56.
 16. Cavalcanti MG, Yang J, Ruprecht A, Vannier MW. Validation of spiral computed tomography for dental implants. *Dentomaxillofac Radiol* 1998; 27 : 329-33.
 17. 최항문, 유동수. 하악관 위치 분석시 일반단층사진과 전산화단층사진의 비교연구. *대한구강악안면방사선학회지* 1995; 25 : 535-43.
 18. Cavalcanti MG, Ruprecht A, Vannier MW. 3D volume rendering using multislice CT for dental implants. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31 : 218-23.
 19. Shimizu T, Yoshikawa S, Uesugi Y, Tabuchi K, Nakata Y, Matsui R, et al. Three-dimensional computed tomographic angiography of pulmonary vessels. *Radiat Med* 1999; 17 : 151-4.
 20. 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.
 21. Gher ME, Richardson AC. The accuracy of dental radiographic techniques used for evaluation of implant fixture placement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1995; 15 : 268-83.
 22. Gowgiel JM. The position and course of the mandibular canal. *J Oral Implantol* 1992; 18 : 383-5.
 23. Littner MM, Kaffe I, Tamse A, Dicapua P. Relationship between the apices of the lower molars and mandibular canal--a radiographic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1986; 62 : 595-602.
 24. Heasman PA. Variation in the position of the inferior dental canal and its significance to restorative dentistry. *J Dent* 1988; 16 : 36-9.
 25. 이병도. 하악관의 주행 높이에 대한 파노라마 방사선사진상의 연구. *대한구강악안면외과학회지* 1999; 25 : 172-77.
 26. Freisfeld M, Drescher D, Schellmann B, Schuller H. [The maxillary sixth-year molar and its relation to the maxillary sinus. A comparative study between the panoramic tomogram and the computed tomogram]. *Fortschr Kieferorthop* 1993; 54 : 179-86.
 27. 이재학, 최영희, 김은경. 치과 임플란트 수술 계획시 CT를 이용한 상악동 체적 및 치조골량 측정. *대한구강악안면방사선학회지* 2003; 33 : 35-41.
 28. 조봉혜. 임플란트 매식부의 고정평가: 파노라마 촬영법과 나선형 전산화 단층촬영법의 측정비교. *대한구강악안면방사선학회지* 2002; 32 : 61-6.
 29. Bolin A, Eliasson S, von Beetzen M, Jansson L. Radiographic evaluation of mandibular posterior implant sites: correlation between panoramic and tomographic determinations. *Clin Oral Implants Res* 1996; 7 : 354-9.
 30. Cavalcanti MG, Yang J, Ruprecht A, Vannier MW. Accurate linear measurements in the anterior maxilla using orthoradially reformatted spiral computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 137-40.
 31. Besimo C, Lambrecht JT, Nidecker A. Dental implant treatment planning with reformatted computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1995; 24 : 264-7.
 32. Preda L, Di Maggio EM, Dore R, La Fianza A, Solcia M, Schifino MR, et al. Use of spiral computed tomography for multiplanar dental reconstruction. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26 : 327-31.
 33. Jacobs R, Adriansens A, Naert I, Quirynen M, Hermans R, Van Steenberghe D. Predictability of reformatted computed tomography for pre-operative planning of endosseous implants. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28 : 37-41.
 34. Quirynen M, Lamoral Y, Dekeyser C, Peene P, van Steenberghe D, Bonte J, et al. CT scan standard reconstruction technique for reliable jaw bone volume determination. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5 : 384-9.
 35. 엄기두, 이병도. CT절편두께와 RP방식이 3차원 의학모델 정확도에 미치는 영향에 대한 연구. *대한구강악안면방사선학회지* 2004; 34 : 13-8