

디지털 및 일반 측방두부규격방사선사진에서 측정 방법에 따른 계측치의 비교

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, 치학연구소 및 BK21

*한림대학교 의과대학 치과학교실

김미자 · 허경희 · 이원진 · 허민석 · 이삼선 · 이진구 · 안병근* · 최순철

The comparison of cephalometric measurements between measuring methods in digital and conventional lateral cephalometric radiograph

Mi-Ja Kim, Kyung-Hoe Huh, Won-Jin Yi, Min-Suk Heo, Sam-Sun Lee, Jin-Koo Lee, Byoung-Keun Ahn*, Soon-Chul Choi

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental Research Institute, and BK21, College of Dentistry, Seoul National University

*Department of Dentistry, College of Medicine, Hallym University

ABSTRACT

Purpose : To compare cephalometric measurement between measuring methods in digital and conventional lateral cephalometric radiograph.

Materials and Methods : Twenty digital and conventional lateral cephalometric radiographs were selected. In digital group, cephalometric measurements were performed manually using hardcopies and automatically using V-Ceph™ program on the monitor. In conventional group, the same measurements were performed manually on conventional films, and for automatic measurement conventional films were digitized by scanner. All measurements were performed twice by 4 observers, and 24 cephalometric variables were calculated and the time spent for each measurement was recorded. The differences in measurements data and the time spent for each measurement were compared within each group. Intra-observer and inter-observer comparisons were performed.

Results : In both groups, no statistically significant difference between manual and automatic measurements was observed and most of the variables didn't show statistically significant differences between methods. The observer with less experience tended to show statistically significant differences of measurements between methods, and differences from other observers. The differences of measurements between methods in digital group were lesser than those of conventional group with statistical significance in 8 variables out of 24. With automatic method and in digital group, the spent time was shorter.

Conclusion : With direct digital radiograph, automatic method using manually identified landmarks can be preferable in cephalometric analysis. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2005; 35 : 15-23)

KEY WORDS : Cephalometry; Image Processing, Computer-Assisted; Digital Radiography

서 론

1931년 독일의 Hofrath¹와 미국의 Broadbent²에 의해 측방두부규격방사선사진이 도입된 이후, 임상 치과교정학에

서는 이를 분석함으로써 두부안면부위의 성장에 대한 연구, 부정교합의 진단, 치료 계획의 수립, 치료 결과의 평가, 성장 예측 등을 위한 진단 도구로써 널리 사용되어 왔다. 측방두부규격방사선사진 분석 시의 오차는 얻어진 계측치를 연구 및 임상에 적용 시 잘못된 판단을 유도할 수 있으므로 오차의 원인과 양상을 이해하고 이를 최소화하도록 하는 것은 매우 중요하다. 이러한 오차는 방사선사진 촬영과 연관된 오차, 기준점 식별과 연관된 오차, 계측 항

접수일: 2004년 11월 10일; 심사일: 2004년 11월 11일; 채택일: 2005년 1월 14일
Correspondence to: Prof. Soon-Chul Choi
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University, 28, Yeongeon-dong, Jongno-gu, Seoul 110-749, Korea
Tel) 82-2-2072-2622, Fax) 82-2-744-3919, E-mail) raychoi@snu.ac.kr

목을 계측하는 기구나 방법과 연관된 오차 등으로 나눌 수 있다.³ 일반적으로 측방두부규격 방사선사진은 촬영조건이 규격화되어 환자의 재위치나 촬영 술식에 의한 오차는 작으며, 주된 요인은 기준점 식별과 연관된 오차라고 보고되고 있다.^{4,6} 이는 특정한 해부학적 계측점을 식별하는 과정에서 기인하는 것으로, 이에 영향을 미치는 것은 관찰자의 숙련도, 계측점 자체의 명확성, 영상의 흑화도와 선명도 등이다.⁷

측방두부규격 방사선사진의 분석은 전통적으로 방사선사진 위에 묘사지를 고정하고 두개안면 구조물들과 중요한 기준점들을 묘사하여 투사도를 작성한 후 이들 점을 이은 선들이 이루는 각도와 거리를 측정함으로써 이루어진다. 이러한 기존의 분석 방법이 컴퓨터의 발달로 변화되고 있는데, 컴퓨터에 계측점을 입력함으로써 필요한 계측 항목들이 자동으로 연산되어 계측치 결과를 얻는 프로그램들의 사용이 늘어나고 있다. 또한 이러한 프로그램은 치료 또는 수술 결과를 예측하는 것이나 치료 전후의 증첩, 자료의 효과적인 정리 및 저장에 위한 메뉴도 제공하고 있어, 치과교정과나 구강외과 영역에서 매우 활용도가 높다.

방사선사진에서 계측점을 컴퓨터로 입력시키는 방법은, 컴퓨터에 연결된 패드에 투사도나 필름을 놓고 컴퓨터에 연결된 디지털타이저를 이용하여 계측점을 입력하거나, 방사선사진을 비디오카메라나 스캐너를 이용하여 컴퓨터상의 이미지로 전환하고 이 이미지 상에서 계측점을 직접 표시하여 입력하는 방법들이 이용되어 왔다. 1981년 Richardson⁸은 디지털타이저를 이용한 직접 입력방법이 재현성이 높고 정확하며 디지털타이저를 이용한 방법은 계측점을 매우 적은 오차로 컴퓨터에 입력할 수 있는 높은 정확도를 갖는 테크닉이지만, 계측점 자체의 식별능이 떨어지면 계측점을 재현성 있게 식별하지 못하므로 오차를 감소시키지 못한다고 하였다.

한편, 방사선사진을 비디오카메라나 스캐너로 디지털타이제이션하여 측방두부규격 방사선사진 분석에 이용한 경우는 모니터 상에서 직접 계측점을 입력하므로 디지털타이저가 필요 없고, 영상을 조절하여 계측점을 잘 식별할 수 있고 오차를 줄일 수 있으며 인쇄본(hardcopy)이 필요없다고 하였다.⁹⁻¹¹ 최근에는 스캐너를 이용한 디지털타이제이션 방법이 주로 이용되는데, 2000년 Chen 등¹⁰은 일반 두부규격 방사선사진을 스캔하여 디지털타이제이션된 영상을 모니터 상에서 계측점을 식별하여 기존 방법과의 오차를 측정하였는데, 각각의 관찰자간 오차보다 두 방법 간의 오차가 더 크고, 관찰자간 오차는 디지털 영상에서 더 컸다고 하였다. 2002년 Ongkosuwito 등³은 300 dpi와 600 dpi로 스캔한 영상에서 수동 측정과 자동 측정 시의 계측치를 비교한 결과 해상도가 오차에 미치는 영향은 없었다고 하였다.

또 다른 디지털타이제이션 방법으로 기존의 필름 대신 영상판이나 센서 등을 이용하여 방사선사진을 촬영한 후 모

니터상의 디지털 이미지로 전환하여 보여주는 방법이 있는데 이를 '직접 디지털 방사선사진(direct digital radiograph)'이라고 한다. 최근 시판되는 디지털 방사선 촬영기는 charge-coupled device(CCD)에 기초한 시스템과 storage phosphor(SP) 영상판 시스템으로 구분할 수 있다. 이의 장점은 첫째, 다이내믹 영상이어서 촬영 후 영상의 대조도와 흑화도를 적절히 조절할 수 있으므로 매우 적은 방사선 노출로도 양질의 상을 얻을 수 있다는 것이다. 직접 디지털 측방두부규격 방사선사진을 사용함으로써, 계측점 식별 능이 저하되지 않으면서 감소될 수 있는 방사선 조사량은 75-90%까지 된다는 보고도 있다.^{12,13} 둘째, 기존의 현상 처리 과정을 필요로 하지 않는다. 셋째, 방사선 조사로부터 영상을 얻는 데까지 걸리는 시간이 단축된다. 넷째, 암실이 필요 없고 영상의 저장 및 전송이 보다 수월하다.^{14,15} 이러한 직접 디지털 방사선사진은 모니터상의 영상이나 필름에 인쇄된 형태로 보여지는데, 디지털 측방두부규격 방사선사진은 방사선 조사량에 상관없이 두개안면부의 연조직과 경조직을 동시에 잘 보여주는 장점이 있다.¹⁶ 직접 디지털 방사선사진의 이용으로 측방두부규격방사선사진 분석 프로그램을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는데, 방사선사진을 먼저 얻고 이를 디지털타이제이션하는 과정들이 생략됨으로 인해 더욱 간편하고, 대조도와 흑화도의 조절 범위가 넓어 계측점 식별이 더 쉬우며, 자료의 저장에서도 인쇄본이 필요 없으므로 더욱 편리하다.

1991년 Eppley와 Sadove¹⁶는, 일반 측방두부규격 방사선사진은 연조직과 경조직의 식별에 필요한 방사선 조사량이 달라서 두 가지를 모두 잘 보여주는 상을 얻기 힘들으나, 디지털 측방두부규격 방사선사진은 방사선 조사량에 상관없이 연조직과 경조직의 식별능이 매우 뛰어나다고 하였다. 또한 대조도 조절, 연화, 변연부 증강 등을 통한 상의 증강 범위가 매우 넓어 일반 두부규격 방사선사진보다 우수하고, 이 외에도 영상 저장 및 전송, 두부규격 방사선사진 자동 분석 등의 장점도 얻을 수 있다고 하였다. 1997년 Lim과 Foong¹⁷은, 일반 영상과 디지털 영상 모두 각 계측점은 x-y축에서 특징적인 오차의 양상을 띠고, 영상 획득 방법 사이에 계측점 재현성의 유의한 차이를 보이지 않았으며, 동일한 관찰자가 반복 식별하여도 오차는 컸다고 하였다. 1998년 Geelen 등¹⁸은 일반 측방두부규격 방사선사진, 디지털 측방두부규격 방사선사진의 모니터상과, 이를 인쇄한 방사선사진상에서 경조직 계측점의 재현성을 비교 연구하였는데, 세 방법 중에서 계측점 식별에 더 우세한 방법은 없었으며 오차는 영상획득 방식보다는 계측점 자체의 식별가능성에서 기인한다고 하였다. 또한 일반 방사선사진과 디지털 방사선사진보다 모니터 상에서 계측점 식별의 재현성이 떨어지거나 유의한 차이는 없어 임상적으로 중요하지 않다고 하였다. 2002년 Lee 등¹⁹은 일반 측방두부규격 방사선사진과 SP 영상판을 이용한 디지털 측방

두부규격 방사선사진에서 각각 투사도를 작성한 후에 디지털타이저를 통해 컴퓨터에 입력하여 2회 측정시의 오차를 비교하였는데, 디지털 측방두부규격 방사선사진이 일반 측방두부규격 방사선사진보다 오차가 적었지만 유의성 있는 차이는 없었다고 하였다.

이제까지 일반 방사선사진을 이용한 경우와 디지털 방사선사진을 이용한 경우에, 계측치를 구하는 방법 간의 재현성을 직접적으로 비교한 연구는 없었다. 본 연구에서는 디지털 및 일반 측방두부규격 방사선사진 군에서, 방사선사진을 묘사한 후에 계측점을 식별하여 각도와 거리를 계측하는 방법(수동 측정법)과 모니터 상에서 직접 계측점을 입력하여 자동 계측하는 방법(자동 측정법)간의 계측치를 비교하고, 각 방법에 소요되는 시간도 비교하고자 하였다. 또한 디지털 및 일반 측방두부규격방사선사진 군의 방법 간 계측치의 오차를 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

서울대학교 치과병원 구강악안면방사선과에서 CR (computed radiography)을 이용하여 획득한 디지털 측방두부규격 방사선사진 20장(A군)과 한강성심병원 치과교정과에서 필름으로 촬영한 일반 두부규격 방사선사진 20장(B군)을 연구대상으로 하였다. 연구대상은 연령이나 성별, 두개안면 구조의 형태를 고려하지 않고 무작위로 선택하였으나 미맹출되거나 결손된 전치, 치근단이 미완성된 전치 또는 전치부 치근단에 미맹출 치아가 접친 경우는 제외하였다.

A군은 Asahi CX-90 SPT (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Kyoto, Japan)로 10×12 인치의 Fuji IP cassette 3A (Fuji Photo Film Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 촬영하였으며, FCR 5000R (Fuji Photo Film Co., Ltd., Tokyo, Japan)을 이용해 스캔하여 영상을 컴퓨터에 저장하였다. 이를 레이저 프린터 FL-IM D (Fuji Photo Film Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용해 동일한 배율로 인쇄한 필름 상에서 투사도를 작성한 후 계측치를 구하였고(방법 1, 수동 측정법), 두부규격 방사선사진 분석 프로그램 (VCeph 3.5TM, Cybermed Inc., Seoul, Korea)을 이용하여 21인치 LCD 모니터 (CX210T, Samsung electronics Co. Ltd., Suwon, Korea)상의 영상에서 직접 계측점을 입력하고 자동으로 계측치를 측정하였다(방법 2, 자동 측정법). B군은 Asahi Auto III NCMR (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Kyoto, Japan)로, 이중증감지가 들어 있는 카세트와 10×12 인치 Fuji 필름을 이용하여 촬영하였고 FPM 3500 (Fuji Photo Film Co., Ltd., Tokyo, Japan) 자동현상기를 사용하여 통법으로 현상하였다. 필름 상에서 투사도를 작성한 후 계측치를 구하였고(방법 1, 수동 측정법), 스캐너 (Astra Umax 600P, UMAX Technologies Inc., Taipei, Taiwan)를 이용하여 300 dpi 해상도로 디지털타이제이

션한 후 VCeph3.5TM을 이용하여 17인치 LCD 모니터 (CX711T, Samsung electronics Co. Ltd., Suwon, Korea)상의 영상에서 직접 계측점을 입력하고 자동으로 계측치를 측정하였다(방법 2, 자동 측정법). 일반 측방두부규격 방사선사진을 스캔하여 JPEG 파일로 저장하는 데까지 걸린 시간은 평균 1분 30초였다.

17개의 계측점 (Table 1)을 이용하여 임상적으로 중요한 24개의 계측 항목 (Table 2)을 구하였으며, 이중 14개는 각도 항목이었고 10개는 거리 항목이었다. 계측은 네 명의 관찰자가 각각 1주의 간격으로 2회 시행하였으며, 이 과정에 소요되는 시간도 측정하였다. 소요 시간은 방법 1의 경우 A군과 B군에서 투사도를 그리기 시작하는 시점에서부터 24개의 계측치를 모두 구하여 그 값을 기록할 때까지 걸린 시간으로 측정하였는데, 각 관찰자의 측정치를 관찰자 1이 검사하여 각도나 길이를 잘못 읽었거나 기록이 잘못되었을 가능성이 있다고 주관적으로 판단된 경우, 해당 측방두부규격 방사선사진을 재계측하도록 하여, 측정과 관련된 기술적인 오차를 최대한 배제하였다. 방법 2의 경우,

Table 1. Cephalometric landmarks used in this study

Landmark	Definition
Nasion (N)	The junction of the frontonasal suture at the most posterior point on the curve at the bridge of the nose.
Sella (S)	The center of the pituitary fossa of the sphenoid bone determined by inspection.
Orbitale (Or)	The lowest point on the average of the right and left borders of the bony orbit.
Porion (P)	The most superior point of external auditory meatus.
Condylion (Co)	The most posterior-superior point on the curvature of the condylar head.
Gonion (Go)	The midpoint of the angle of the mandible
Menton (Me)	The most inferior point on the symphyseal outline.
Gnathion (Gn)	The most inferior and anterior point on the symphyseal outline
Pogonion (Pog)	The most anterior point on the contour of the bony chin
Anterior nasal spine (ANS)	The tip of the median sharp bony process of the maxilla at the lower margin of the anterior nasal opening.
Posterior nasal spine (PNS)	The most posterior point at the sagittal plane on the bony hard palate.
A Point (A)	The most posterior point on the curve of the maxilla between the anterior nasal spine and supradentale
B Point (B)	The point most posterior to a line from infradentale to pogonion on the anterior surface of the symphyseal outline of the mandible.
UIA	The apex of the maxillary central incisor
UIE	The incisal tip of the maxillary central incisor
LIA	The apex of the most anterior mandibular central incisor
LIE	The incisal tip of the mandibular central incisor

A군에서는 측방두부규격 방사선사진 분석 프로그램에서 영상을 열고 계측점 입력을 시작하는 시점에서부터 모든 계측점의 입력이 끝나고 컴퓨터에 의한 계측이 자동으로 이루어져 필요한 24개의 계측치가 모니터 상에 뜰 때까지 걸린 시간으로 측정하였다. B군에서도 동일하게 측정하고 스캐닝에 소요된 평균 시간, 1분 30초를 일률적으로 더하였다. 네 명의 관찰자는 임상 치과교정의 경험에서 차이가 있었는데, 관찰자 1은 5년 이상의 경험, 관찰자 2는 2년 이상의 경험, 관찰자 3, 4는 1년 이상의 경험을 가지고 있었다.

이상의 결과를 분석하여 A군과 B군에서 방법 간 및 방법 내 계측치를 비교하였고, 계측 항목별로 방법 간 계측치를 비교하였으며, 관찰자내 및 관찰자간 비교도 시행하였다. 또한 방법 간의 오차의 크기가 A군과 B군에서 차이가 있는 지도 관찰하였고, 마지막으로 방법에 따라 소요되는 시간에 차이가 있는 지도 관찰하였다. 각 군내에서 비교는 paired t-test를 사용하였고 각 군간의 방법간 오차의 크기를 비교하는 데에는 Student t-test로 하였다. 모든 통계는 SPSS for Windows (Ver 10.0, SPSS Inc., Chicago, USA)

Table 2. The 24 cephalometric measurements used in this study variables

Variables	Unit	Definition
SNA	angle	Angle between S-N and N-A
SNB	angle	Angle between S-N and N-B
ANB	angle	Angle between N-A and N-B
Facial angle	angle	Angle between Po-Or and N-Pog
Facial convexity	angle	Angle between N-A and A-Pog
Anterior facial height	length	Distance between N and Me
LAFH	length	Distance between ANS and Me
Wits appraisal	length	Distance between A and B, both projected perpendicular on the OP
PP to SN	angle	Angle between S-N and ANS-PNS
OP to SN	angle	Angle between S-N and OP
MP to SN	angle	Angle between S-N and Go-Gn
U1 to A-Pog	length	Distance from A-Pog to UIE
U1 to SN	angle	Angle between S-N and UIA-UIE
U1 to PP	angle	Angle between ANS-PNS and UIA-UIE
U1 to NA (°)	angle	Angle between N-A and UIA-UIE
U1 to NA (mm)	length	Distance from N-A to UIE
L1 to NB (°)	angle	Angle between N-B and LIA-LIE
L1 to NB (mm)	length	Distance from N-B to LIE
L1 to MP	angle	Angle between Go-Gn and LIA-LIE
Interincisal angle	angle	Angle between UIA-UIE and LIA-LIE
L1 to A-Pog	length	Distance from A-Pog to LIE
Pog to NB	length	Distance from N-B to Pog
Midfacial length	length	Distance between Co and A
Mandibular length	length	Distance between Co and Gn

를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 방법 간 및 방법 내 계측치의 비교

A군과 B군에서 방법 1의 2회 계측, 방법 2의 2회 계측, 방법 1과 2의 계측치 평균은 5% 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

Table 3. Comparison of cephalometric measurements

	Method 1 †	Method 2 †	Method 1-2 ‡
Group A	0.755	0.069	0.058
Group B	0.451	0.504	0.050

* P-value of paired t-test

† comparison of repeated measurements

‡ comparison of averages of repeated measurements of Method 1 and Method 2

Group A : digital lateral cephalometric radiographs

Group B : conventional lateral cephalometric radiographs

Method 1 : using hard copies

Method 2 : on the monitor using VCeph 3.5™

Table 4. Comparison of measurement according to variables (Group A)

	Method 1		Method 2	
	Mean	SD	Mean	SD
SNA	80.3613	4.2327	80.5981	4.2183
SNB	76.6538	3.8603	76.7809	3.7513
ANB	3.7106	4.0113	3.8191	4.0407
Facial Angle	85.8575	3.7210	85.6687	3.7249
Facial Convexity	7.4413	9.9448	7.7396	10.0882
AFH	131.5256	9.4984	131.5402	9.4199
LAFH	75.6500	7.7341	75.7377	7.4210
Wits	0.5038	5.1217	0.0753	5.1740
PP to SN	10.1631	2.7625	9.4517	2.4782
OP to SN	19.4106	3.9300	18.6072	4.0300
MP to SN	39.6700	6.1114	38.7775	6.0434
U1 to A-Pog	9.1488	3.3321	9.1864	3.3708
U1 to SN	104.8463	5.9955	104.6875	5.9315
U1 to PP	114.9539	6.6243	114.1321	6.3247
U1 to NA (°)	24.8231	8.7007	24.1156	8.6013
U1 to NA (mm)	6.1094	2.8642	6.0949	2.8381
L1 to NB (°)	29.4674	9.9570	29.4268	10.1430
L1 to NB (mm)	8.0023	4.1156	8.2086	4.1320
IIA	92.9430	10.6102	93.8162	10.7865
L1 to MP	122.2419	12.1789	122.6782	12.4508
L1 to A-Pog	5.0759	2.7356	5.0921	2.8523
Pog to NB (mm)	0.6849	2.1019	0.6259	2.2397
Midfacial length	90.3101	4.7820	89.9720	5.4870
Mandibular length	121.0581	10.7652	121.0959	10.8161

* statistically significant with paired t-test (p < 0.05)

Group A : digital lateral cephalometric radiographs

Method 1 : using hard copies

Method 2 : on the monitor using VCeph 3.5™

2. 계측 항목별 계측치의 비교

계측 항목별로 방법 1과 2의 계측치를 비교한 결과, A군에서는 24개 항목 모두 5% 수준에서 유의한 차이가 없었고, B군에서는 PP to SN을 제외하고는 모두 5% 수준에서 유의한 차이가 없었다(Table 4, 5).

Table 5. Comparison of measurement according to variables (Group B)

	Method 1		Method 2	
	Mean	SD	Mean	SD
SNA	78.1556	3.9057	78.6275	3.9108
SNB	3.7581	3.2823	3.5590	3.3489
ANB	86.6106	3.8106	86.6939	3.7616
Facial Angle	8.4848	8.1541	8.3891	8.1784
Facial Convexity	128.2769	9.0745	128.0343	9.1671
AFH	73.2625	6.0003	73.3527	6.0820
LAFH	-1.4931	5.7796	-1.2051	6.3317
Wits	9.1975	2.6345	8.3427	2.5567
PP to SN *	19.4038	4.0409	18.3118	4.6212
OP to SN	40.2963	5.3214	39.3072	5.4252
MP to SN	8.6619	3.7529	8.9923	3.7476
U1 to A-Pog	105.2794	7.5193	105.7596	7.2178
U1 to SN	114.3369	0.5350	114.1024	0.8210
U1 to PP	23.6913	6.9702	23.5976	6.5399
U1 to NA (°)	5.3850	2.5801	5.7824	2.5918
U1 to NA (mm)	30.5587	5.8164	30.4551	5.8244
L1 to NB (°)	8.0338	2.6744	8.1178	2.6850
L1 to NB (mm)	91.7706	8.3567	92.5069	8.3637
IIA	122.3300	11.4899	122.4033	11.3368
L1 to MP	5.2181	2.7091	5.6755	2.8291
L1 to A-Pog	-0.2131	1.7131	-0.6220	1.7769
Pog to NB (mm)	90.3319	5.4700	89.2445	5.4645
Midfacial length	119.4730	10.3986	119.4730	10.3859
Mandibular length	121.0581	10.7652	121.0959	10.8161

* statistically significant with paired t-test ($p < 0.05$)
 Group B : conventional lateral cephalometric radiographs
 Method 1 : using hard copies
 Method 2 : on the monitor using VCeph 3.5™

Table 6. Intra-observer comparison of repeated measurements*

		Observer	Observer	Observer	Observer
		1	2	3	4
Group A	Method 1	0.067	0.595	0.085	0.000
	Method 2	0.484	0.785	0.933	0.239
	Method 1-2 †	0.631	0.659	0.181	0.173
Group B	Method 1	0.298	0.863	0.763	0.012
	Method 2	0.920	0.386	0.498	0.928
	Method 1-2 †	0.979	0.857	0.171	0.981

* P-value of paired t-test
 † comparison of averages of repeated measurements of Method 1 and Method 2
 Group A : digital lateral cephalometric radiographs
 Group B : conventional lateral cephalometric radiographs
 Method 1 : using hard copies
 Method 2 : on the monitor using VCeph 3.5™

3. 관찰자 내 및 관찰자 간 측정치 비교

관찰자에 따른 방법 1과 2의 계측치는 A군과 B군에서 관찰자 4를 제외하고는 통계적으로 유의한 차이가 없었고 모든 군, 모든 관찰자에서 방법 내의 계측치는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 6). 관찰자 간 측정치를 비교한 결과, 관찰자 4가 대체로 유의한 차이를 보이는 경우가 많

Table 7. Inter-observer comparison of averages of repeated measurements*

	Group A		Group B	
	Method 1	Method 2	Method 1	Method 2
Observer 1-2	0.760	0.067	0.558	0.099
Observer 1-3	0.065	0.062	0.353	0.591
Observer 1-4	0.107	0.470	0.006	0.108
Observer 2-3	0.133	0.971	0.103	0.072
Observer 2-4	0.134	0.027	0.050	0.928
Observer 3-4	0.001	0.038	0.000	0.097

* P-value of paired t-test
 Group A : digital lateral cephalometric radiographs
 Group B : conventional lateral cephalometric radiographs
 Method 1 : using hard copies
 Method 2 : on the monitor using VCeph 3.5™

Table 8. Comparison of Inter-method difference between Group A and B

	Group A		Group B	
	Mean	SD	Mean	SD
SNA	0.7711	0.7835	0.9187	0.7651
SNB	0.5911	0.5970	0.6966	0.5763
ANB	0.5163	0.3974	0.6534	0.5557
Facial Angle*	0.6360	0.5401	0.8995	1.0312
Facial Convexity	1.0821	0.7983	1.1851	1.0496
AFH	0.8641	0.8095	0.8479	1.0288
LAFH	0.7242	0.6549	0.8990	1.2250
Wits*	0.9539	0.7724	1.2878	0.9570
PP to SN	1.1426	0.8064	1.2073	1.1931
OP to SN	1.4374	0.8685	1.7230	1.1804
MP to SN	1.4108	0.0372	1.5275	1.0342
U1 to A-Pog*	0.4809	0.3266	0.7209	0.4685
U1 to SN	1.9830	1.7078	1.6433	1.2853
U1 to PP	1.9987	1.8095	1.7603	1.3134
U1 to NA (°)	1.9242	1.4798	1.9806	1.5451
U1 to NA (mm)	0.8550	0.7471	1.0496	0.7079
L1 to NB (°)*	1.2454	0.8915	1.6314	1.2182
L1 to NB (mm)*	0.3468	0.4009	0.5152	0.5213
IIA	1.7822	1.3275	2.1595	1.8778
L1 to MP	2.5019	1.8232	2.2480	1.6082
L1 to A-Pog*	0.5079	0.5356	0.7256	0.5944
Pog to NB (mm)*	0.3783	0.2903	0.5909	0.5131
Midfacial length	1.9001	1.2219	2.0461	1.5718
Mandibular length*	0.9775	0.7311	0.4595	1.8698

* Statistically significant with Student t-test ($P < 0.05$)
 Group A : digital lateral cephalometric radiographs
 Group B : conventional lateral cephalometric radiographs

Table 9. Comparison of the time between methods (unit : minute)

	Method 1	Method 2
Group A	14.04 ± 1.48	7.36 ± 0.41
Group B	14.32 ± 1.39	9.07 ± 0.35

Group A : digital lateral cephalometric radiographs
 Group B : conventional lateral cephalometric radiographs
 Method 1 : using hard copies
 Method 2 : on the monitor using VCeph 3.5™

았다 (Table 7).

4. 계측 항목별 방법 간 오차의 크기

각 군에서 방법 1과 방법 2의 각 계측 항목별 오차의 크기를 비교한 결과, 24 계측 항목 중 8개의 항목에서 두 방법 간의 오차의 크기는, B군보다 A군에서 유의하게 작았다 (Table 8).

5. 방법 간 소요 시간의 비교

소요된 시간은, 각 군에서 방법 1이 방법 2보다 통계적으로 유의하게 컸다. 방법 2의 경우 A군보다 B군에서 시간이 더 걸렸으나, 스캔에 걸린 시간 1분 30초를 빼면 소요시간은 비슷하였다 (Table 9).

고 찰

계측치의 오차와 재현성을 연구하는데 있어서 계측점 자체의 재현성을 평가할 것인지, 계측점들이 이루는 각도와 길이와 같은 분석에 실제로 이용되는 계측치의 재현성을 평가할 것인지는 고려해 보아야 할 점이다. Baumrind와 Frantz⁴가 언급했듯이 계측점들의 오차의 분포는 원형이 아닌 양상을 띠므로 계측치를 형성하는 선들이 어느 방향으로 지나는 지에 따라 계측점이 계측치에 미치는 영향은 매우 다양하게 나타날 수 있다. Richardson⁸도 x-y 축에서의 편차를 비교하는 것이 정확한 방법이며 각 계측점마다 x-축 또는 y-축으로의 오차(오차 범위)가, 계측치를 비교함으로써 정확하게 나타나지 않을 수 있다고 하였다. 그러나 Turner와 Weerakone⁹은 계측점의 좌표상 위치의 오차와 함께 계측점을 식별하는 방법 (technique)이 계측점 식별 오차에 미치는 실제적인 중요도를 정량화하기 위해 각도 및 거리 계측치들 간의 오차를 연구하는 것도 보다 편리하고 유용한 방법이라고 하였다. 이 연구에서 일반 방사선사진을 디지털이저로 Screen-Ceph에 입력하는 방식과 스캐너로 디지털이제이션한 디지털 방사선사진을 Screen-Ceph에 직접 입력하는 방식 사이에 계측치의 오차를 연구하여, 디지털이저를 이용한 직접 입력법이 모니터상의 디지털 영상에서 직접 입력하는 방법에 비해 정확도가 높다

고 하였으나 그 차이는 각도에서 최대 0.5°, 거리에서 최대 0.2 mm로 임상적으로 크게 문제되지 않는다고 하였다. 2002년 Ongkosuwito 등³은 일반 측방두부규격 방사선사진에서의 수동 측정된 계측치와 이를 스캐너로 디지털이제이션한 측방두부규격 방사선사진을 AOCeph™ prerelease (American Orthodontics, Sheboygan, USA) 프로그램에서 직접 입력, 자동 측정하여 얻은 계측치를 비교 연구한 바 있다. 본 연구에서는 실제 임상에서 사용되고 있는 두부규격 방사선사진 분석 프로그램을 이용하는데 있어서 기존의 수동 측정법과 비교해 계측치가 믿을만한지, 또한 이러한 시스템을 구축하는데 어떤 영상 획득 방법을 이용하는 것이 정확도를 높일 수 있을 것인가에 주목을 하였기 때문에, 계측치를 비교하는 방법을 선택하였다.

측방두부규격 방사선사진의 분석은 전통적으로 방사선 사진 위에 묘사지를 고정하고 두개안면 구조물들과 중요한 기준점들을 묘사하여 이들 점을 이은 선들이 이루는 각도와 거리를 측정함으로써 이루어진다. Baumrind와 Frantz⁴는 1971년에 발표한 연구에서, 계측점 식별의 오차는 매우 커서 무시할 수 없으며, 대부분의 계측점에서 오차의 분포는 무작위적이 아닌 일정한 유형을 갖는 오차 분포를 보인다고 하였다. 한편 계측점 식별은 두부규격 방사선사진의 연속적 평가 시 첫 번째 보다 두 번째 판단이 더 정확하다고 알려져 있으며, 측정을 반복하여 그 값을 평균하여 계측치로 사용할 경우 계측점 식별의 오차는 감소한다. Houston⁵도 계측점의 반복된 측정으로 오차가 줄어드는 것은 명확하나, 이 방법의 비용-효용성의 측면과 계측점 자체의 불확실성에서 오는 문제는 더 연구해야 한다고 하였다. Gravelly와 Benzies²⁰는 일반적으로 계측점 식별의 오차는 관찰자내 오차보다 관찰자간 오차가 더 크다고 하였다. 이는 계측점의 정의에 따라 위치를 정할 때 한 개인에서는 비교적 일정한 유형에 따라 비슷한 위치에서 계측점을 정할 수 있으나 관찰자가 다르면 같은 문장의 정의를 그대로 따른다 하더라도 계측점 식별의 유형이 다를 수 있기 때문이며, 또한 관찰자의 경험도 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 계측 항목을 계측하는 기구나 방법과 연관된 오차가 배제되도록 하였으므로, 오차의 주된 요인은 기준점 식별과 연관된 오차일 것으로 생각된다. 디지털 및 일반 측방두부규격 방사선사진 군에서 수동 측정법 2회 계측, 자동 측정법 2회 계측 간에 계측치에 유의한 차이가 없고, 이들 측정법 간의 계측치도 유의한 차이가 없었다. 또한 계측 항목별로 수동 측정법과 자동 측정법의 계측치를 비교한 결과, 디지털 영상에서는 24개 항목이 모두, 일반 영상에서는 PP to SN을 제외한 23개 항목이 5% 수준에서 유의한 차이가 없어, 어느 방법을 쓰더라도 임상적으로 유용할 것으로 생각되었다. Geelen 등¹⁸은 일반 영상, SP 영상판을 이용한 디지털 영상의 인쇄본으로 각각 계측점을

식별하고 모니터 상의 디지털 영상으로 계측점을 식별하여 비교하였는데, 세 가지 방식에서 계측점의 재현성은 유사하며 어느 것도 우세하지 않았다고 하였으며, 모니터상의 계측점 식별이 유의한 차는 없으나 재현성이 약간 떨어진다고 하였다. Turner와 Weerakone⁹은 일반 영상에서의 계측점과 스캐너로 디지털화시킨 영상에서 모니터상에서 직접 입력한 계측점을 비교하였는데, 모니터상의 직접 입력법이 식별능이 떨어졌고 이는 mouse cursor로 인해 식별하려는 계측점 부위의 해상도가 감소되어서 정확한 위치에 입력하지 못했기 때문일 것으로 추정하였다. Ongkosuwito 등³은 일반 영상에서 수동 측정과 스캐너로 디지털화시킨 디지털 영상에서 분석프로그램을 이용한 자동 측정의 계측치와 치료 전후의 변화량을 비교하여, U1은 재현성이 높으나, L1은 일반 영상에서 재현성이 낮고, 악골 관계의 변화량은 어느 측정법에서도 재현성이 낮다고 하였다. 악골 관계의 변화량은 매우 작은 수치이므로 두 측정법 간에 유의하지 않은 계측치의 차이로도 변화량에서는 유의한 차이를 보일 수 있기 때문에, 악골 관계의 변화량을 해석하는 데 있어서는 주의해야 한다고 하였다.

일반 영상을 스캐너로 디지털화시킨 하여 얻은 디지털 영상에서 사용된 스캐너에 따라 계측점의 재현성에 미치는 영향에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 2000년 Chen 등¹⁰은 일반 두부규격 방사선사진을 스캔하여 디지털화시킨 영상을 모니터 상에서 계측점을 식별하여 기존의 방법과의 오차를 측정하였는데, 가장 편차가 작은 계측점은 Sella, 가장 편차가 큰 계측점은 Orbitale였으며 각각의 관찰자간 오차보다 두 방법 간의 오차가 더 크고, 관찰자간 오차는 디지털 두부규격 방사선사진에서 더 컸다고 하였다. 또한 스캐너의 사양을 향상시키면 결과가 더 좋아질 것으로 전망하였다. 그러나, 2001년 Held 등²¹은 서로 다른 6가지 설정으로 스캐너를 사용하여 디지털화시킨 영상에서 계측점 식별능을 기존의 수동 측정 방법과 비교하였는데, 스캐너의 사양은 크게 영향을 미치지 않으며, 75 dpi, 흑백 스캔을 이용하여도 재현성 있는 분석을 위한 충분한 질의 영상을 제공한다고 하였다. 2002년 Ongkosuwito 등³은 300 dpi와 600 dpi로 스캔한 영상에서 계측점을 직접 입력하여 컴퓨터 프로그램을 이용하여 계측치를 구하고 이를 수동 측정 방법과 비교하였는데, 두 가지 해상도 모두 오차에 미치는 영향은 없다고 하였다. 본 연구에서는 일반 목적으로 사용되는 스캐너를 이용하여 300 dpi로 디지털화시킨 하였다. 일반 영상과 스캐너로 디지털화시킨하여 얻은 디지털 영상에서 계측점을 비교한 결과 24개 항목 중 23개 항목이 유의한 차이가 없어 스캐너가 미치는 영향은 무시할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나, SN to PP는 일반 영상에서 두 방법 간 계측치의 유의한 차이를 보였는데, ANS의 경우 일반 영상과 디지털화시킨 디지털 영상에서 얇은 피질골로 이루어진 구조물이 의미있는 정

보로 남아있는 정도가 다르고 일반 영상을 디지털화시킨하여도 대조도와 흑화도의 조절 범위가 좁아서 ANS를 식별하는 것이 직접 디지털 영상보다 불량하며, PNS의 경우 구개 후방부위에서 다른 구조물들과 중첩되어 정확하게 식별되지 못하기 때문인 것으로 생각된다.

한편 많은 문헌들에서 Po (Porion), Or (Orbitale), Co (Condylion) 등은 구조물들의 중첩이 많고 정확히 외형이 보이지 않는 경우가 많아 재현성이 떨어진다고 하였다.^{22,23} Sandler²⁴는 Go (Gonion), Ar (Articulare) 등의 기준점은 투사도 작성 후 하악 외형 선상에 기준점을 찍는 방법이 가상선 상에서 디지털로 기준점을 찍는 방법에 비해 재현성이 높다고 하였다. Tng 등²⁵도 중절치 치근침이나 PNS 같이 다른 구조물들과 중첩되어 나타날 때는 정확하게 판별하기 어려우며, point A나 point B 같이 계측점이 점진적인 곡선 상에 위치할 때도 오차가 발생할 확률이 크다고 하였다. Ongkosuwito 등³은 하악 전치가 디지털 영상에 비해 일반 영상에서 재현성이 떨어진다고 하였다. 또한 상악 전치의 경우 Houston 등⁶은 상악 전치 치근침을 식별하는데 있어서 전치의 외형을 그리고 나서 그 선상에서 계측점을 식별하는 것이 쉽기 때문에 수동 측정법과 디지털화를 이용한 자동 측정법 사이에 오차가 있을 수 있다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 이러한 기준점들과 연관된 계측치들에서 일치도가 매우 높게 나타났는데, Richardson⁸의 언급과 같이 계측점 자체의 오차가 계측치로 종합되면서 실제 있을 수 있는 오차가 잠복되었을 가능성도 배제할 수 없을 것으로 생각된다.

관찰자에 따른 수동 측정법과 자동 측정법의 계측치는 디지털 영상과 일반 영상에서 관찰자 4를 제외하고는 통계적으로 유의한 차이가 없었고 모든 군, 모든 관찰자에서 방법 내의 계측치는 유의한 차이를 보이지 않았다. 관찰자간 측정치를 비교한 결과, 관찰자 4가 대체로 유의한 차이를 보이는 경우가 많았다. 관찰자의 경험도가 기준점 식별과 연관된 오차에 영향을 미치는 한 요인인데, 이는 여러 가지 중첩된 구조물 중에서 정확히 기준점을 구분하는 능력이 경험이 적을수록 떨어지고 동일한 사진에서도 반복 식별 시 일관된 기준을 적용하지 못해 재현성이 떨어지기 때문이다. 본 연구에서 관찰자 3과 4의 경우 두부규격방사선사진 분석의 경험이 1년 미만이었고 디지털화시킨 영상에서 직접 계측점을 입력하는 방법에 대한 경험도 이전에는 없었기 때문에, 관찰자 4의 경우, 수동 측정법과 자동 측정법의 계측치 사이에 오차가 있었을 것으로 생각된다. 그러나 관찰자 4도 동일한 방법에서는 유의한 차이가 없고 방법 간에 유의한 차이를 보인 것으로 보아, 투사도 작성 후 계측점을 식별할 때와 모니터 상의 영상에서 직접 계측점을 식별할 때 서로 다른 유형으로 식별하는 것으로 추정되며, 이는 두 방법 사이에 일관된 기준을 적용하도록 하는 노력이 필요하다고 생각된다.

각 군에서 수동 측정법과 자동 측정법의 각 계측 항목별 오차의 크기를 비교하였는데, 24 계측 항목 중 8개의 항목에서 두 방법 간의 오차의 크기는 일반 영상 군보다 디지털 영상 군에서 유의하게 작게 나타났다(Table 8). 디지털 영상 군보다 일반 영상 군에서 오차의 크기가 작은 항목도 5개였으나 이들은 유의한 차이를 보이지는 않았다. 다시 말해서 수동 측정법과 자동 측정법의 계측치 간의 오차는 디지털 두부규격 방사선사진 군에서 더 적게 나타난다고 할 수 있다. 수동 측정법의 경우 방사선사진을 조도가 낮은 방에서 관독대에 올려놓고 투사도를 작성하며 다양한 흑화도를 갖는 여러 가지 구조물이 중첩되어 계측점 식별이 어려운 경우 주변 광선을 차단하는 보조도구를 사용함으로써 보다 정확하고 재현성 있는 계측점 식별이 가능하다. 자동 측정법의 경우, 디지털 두부규격 방사선사진은 다이나믹한 영상으로서 대조도와 흑화도의 조절 범위가 넓어 계측점 식별 시 정확성과 재현성을 높일 수 있으나, 일반 두부규격 방사선사진을 스캐너로 디지털화시킨 경우에는 이 보다 좁은 범위에서 대조도와 흑화도를 조절할 수 있으므로 정확성과 재현성이 감소될 수 있을 것이다.

또한 디지털 방사선사진 군에서 가장 큰 방법 간 차이를 보이는 계측치는 각도 항목은 L1 to MP (2.5019°)이고 거리 항목은 midfacial length (1.9001 mm), 일반 방사선사진 군에서도 각도 항목은 L1 to MP (2.2480°), 거리 항목은 midfacial length (2.0461 mm)이었으나 이들 항목은 이 정도의 차이로는 임상적 진단에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각된다. 한편 작은 차이로도 진단에 큰 영향을 미칠 수 있는 ANB나 Wits appraisal 항목은, ANB의 경우 디지털 0.5163°, 일반 0.6534°이고 Wits appraisal의 경우 디지털 0.9539 mm, 일반 1.2878 mm로 나타나, ANB는 큰 차이가 없지만 Wits appraisal의 경우 주의 깊게 해석해야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 디지털 및 일반 측방두부규격 방사선사진 군에서, 방사선사진을 묘사한 후에 각도와 거리를 계측하는 방법(수동 측정법)과 모니터 상에서 직접 계측점을 입력하여 자동 계측하는 방법(자동 측정법)간의 계측치와 소요 시간을 비교하고자 시행하였다. 두 군에서 수동 측정법과 자동 측정법 간의 각각의 방법 내 및 방법 간 계측치의 유의한 차이는 없었으며 대부분의 계측 항목은 수동 측정법과 자동 측정법 간의 계측치간 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 방법 간의 오차의 크기는 24 계측 항목 중 8개의 항목에서 디지털 측방두부규격 방사선사진 군이 일반 측방두부규격 방사선사진 군보다 유의하게 작았고, 소요 시간은 각 군에서 모두 자동 측정법이 수동 측정법보다 유의하게 작았으며 자동 측정법의 소요 시간은 디지털 영상 군이 일반 영상 군보다 작았다. 결론적으로 컴퓨터 장비의 발달과 자동 측정법을 제공하는 컴퓨터 프로그램의 발달로 컴퓨터를 이용한 측방두부규격 방사선사진의

자동 분석법이 수동 측정법을 대체되고 있는 추세에서, 직접 디지털 영상을 이용하는 것이 단계가 감소되어 소요되는 시간도 감소하며, 계측점 식별의 오차를 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Hofrath H. Die bedeutung der roentgenfern und abstandsaufnahme für die diagnostik der kieferanomalien. Fortschr Orthodont 1931; 1 : 232-48.
- Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontics. Angle Orthod 1931; 1 : 45-66.
- Ongkosuwito EM, Katsaros C, van't Hof MA, Bodegom JC, Kuijpers-Jagtman AM. The reproducibility of cephalometric measurements: a comparison of analogue and digital methods. Eur J Orthod 2002; 24 : 655-65.
- Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. Am J Orthod 1971; 60 : 111-27.
- Houston WJ. The analysis of errors in orthodontic measurements. Am J Orthod 1983; 83 : 382-90.
- Houston WJ, Maher RE, McElroy D, Sherriff M. Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. Eur J Orthod 1986; 8 : 149-51.
- Björk A, Solow B. Measurements on radiographs. J Dent Res 1961; 41 : 672-83.
- Richardson A. A comparison of traditional and computerized methods of cephalometric analysis. Eur J Orthod 1981; 3 : 15-20.
- Turner PJ, Weerakone S. An evaluation of the reproducibility of landmark identification using scanned cephalometric images. J Orthod 2001; 28 : 221-9.
- Chen YJ, Chen SK, Chang HF, Chen KC. Comparison of landmark identification in traditional versus computer-aided digital cephalometry. Angle Orthod 2000; 70 : 387-92.
- Doler W, Steinhofel N, Jager A. Digital image processing techniques for cephalometric analysis. Comput Biol Med 1991; 21 : 23-33.
- Seki K, Okano T. Exposure reduction in cephalography with a digital photostimulable phosphor imaging system. Dentomaxillofac Radiol 1993; 22 : 127-30.
- Naslund EB, Kruger M, Petersson A, Hansen K. Analysis of low-dose digital lateral cephalometric radiographs. Dentomaxillofac Radiol 1998; 27 : 136-9.
- Kashima I. Computed radiography with photostimulable phosphor in oral and maxillofacial radiology. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1995; 80 : 577-98.
- 김은경. 치과에서 디지털 X-선 영상의 이용. 대한구강악안면방사선학회지 1999; 29 : 387-96.
- Eppley BL, Sadove AM. Computerized digital enhancement in craniofacial cephalometric radiography. J Oral Maxillofac Surg 1991; 49 : 1038-43.
- Lim KF, Foong KW. Phosphor-stimulated computed cephalometry: reliability of landmark identification. Br J Orthod 1997; 24 : 301-8.
- Geelen W, Wenzel A, Gotfredsen E, Kruger M, Hansson LG. Reproducibility of cephalometric landmarks on conventional film, hardcopy, and monitor-displayed images obtained by the storage phosphor technique. Eur J Orthod 1998; 20 : 331-40.
- 이양구, 양원식, 장영일. 일반두부방사선계측사진과 디지털방사선계측사진의 계측점 식별의 오차 및 재현성에 관한 비교 연구. 대한치과교정학회지 2002; 32 : 79-89.

20. Gravely JF, Benzies PM. The clinical significance of tracing error in cephalometry. *Br J Orthod* 1974; 1 : 95-101.
21. Held CL, Ferguson DJ, Gallo MW. Cephalometric digitization: A determination of the minimum scanner settings necessary for precise landmark identification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119 : 472-81.
22. Adenwalla ST, Kronman JH, Attarzadeh F. Porion and condyle as cephalometric landmarks-an error study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988; 94 : 411-5.
23. Graber TM. Implementation of the Roentgenographic cephalometric technique. *Am J Orthod* 1958; 44 : 906-32.
24. Sandler PJ. Reproducibility of cephalometric measurements. *Br J Orthod* 1988; 15 : 105-10.
25. Tng TT, Chan TC, Hagg U, Cooke MS. Validity of cephalometric landmarks. An experimental study on human skulls. *Eur J Orthod* 1994; 16 : 110-20.