

두부의 수직회전 시 정모두부방사선사진상의 계측점 변화와 이의 보정

김미영^a · 이경민^a · 조진형^b · 황현식^c

본 연구는 정모두부방사선사진 촬영 시 두부의 수직회전에 따라 달라지는 계측점의 위치변화를 방사선원리를 이용하여 계산으로 보정한 후 이러한 보정 방법이 타당하지 알아보고자 시행되었다. 성인 30명을 대상으로 동일한 두부 자세에서 정모 및 측모두부방사선사진을 서로 직각이 되게끔 촬영한 다음 두부를 5° 하방으로 수직회전 시 정모두부방사선사진상 여러 계측점의 변화를 방사선의 기하학적 원리를 이용하여 수직 및 수평방향으로 구분하여 산출한 후, 이를 실제로 두부를 5° 회전시킨 상태에서 촬영한 정모방사선사진에서의 계측점 변화와 비교 분석하였다. 실제로 두부를 5° 회전시킨 상태에서 촬영한 정모방사선사진에서의 계측점 변화를 수평방향과 수직방향으로 구분하여 살펴본 결과 수평적으로는 작은 변화를 보인 반면 수직적으로는 전반적으로 큰 변화를 나타내었다. 두부 회전 시 수직변화를 계측점별로 살펴본 결과 ear rod축에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다. 두부의 5° 수직회전 시 계측점의 변화를 계산을 통해 산출한 후, 산출된 수치와 실제 수치를 비교한 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 수치를 나타내었다. 아울러 두부의 수직회전에 영향을 적게 받는 계측점일수록 그 차이가 작은 경향을 보였다. 본 연구 결과는 정모 및 측모두부방사선사진을 서로 직각이 되게끔 촬영할 경우, 두부의 수직회전으로 인한 정모두부방사선사진상의 계측점 변화를 회전 전 위치로 산출 보정하는 것이 가능함을 보여주었다. (대치교정지 2011;41(2):98-111)

주요 단어: 정모두부방사선규격사진, 두부수직회전, 보정

서론

1931년 Broadbent¹에 의해 두부방사선규격사진이 소개된 이래 두부방사선규격사진은 치과교정학 분야에 있어서 진단 및 치료계획 수립에 유용하게 사용되어 왔으며, 특히 시간 간격을 두고 촬영한 두부방사선사진을 중첩함으로써 두개안면의 성장양상을 파악하고 교정치료 과정 및 결과를 평가하는데 도움이 되어왔다.

방사선사진의 중첩을 위해서는 두 장의 사진이

같은 각도로 촬영되어야 하므로 두부방사선규격사진 촬영 시 ear rod가 포함된 두부고정기를 사용하고 있다. 그러나 ear rod는 좌우 양측 외이도에 위치하여 두부의 측방회전은 막을 수 있는 반면 두부의 수직회전은 고정할 수 없어 촬영시마다 두부의 수직회전 정도가 다를 수 있다. 측모두부방사선사진의 경우 수직적으로 서로 다른 두부위치에서 촬영되었다 할지라도 두 영상이 두드러진 차이를 보이지 않는 반면, 정모두부방사선사진의 경우 두 장의 사진은 큰 차이를 보이고² 치료평가 등을 위한 중첩이 불가하여 규격사진의 의미를 상실한 상태이고 이러한 이유로 임상에서의 사용 또한 측모방사선사진에 비해 현저하게 적은 실정이다.³ 그러나 최근 일반인의 외모에 대한 관심의 증가와 함께 비대칭에 대한 인식이 증가하면서 정면 얼굴사진(photo) 촬영이 늘어나고 있고 이의 중첩분석을 위한 올바른 정모두부방사선규격사진 촬영의 필요성이 대두되고 있다.

^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: 2010년 12월 22일 / 원고최종수정일: 2011년 2월 28일 /

원고채택일: 2011년 3월 4일.

DOI:10.4041/kjod.2011.41.2.98

Kim과 Hwang⁴은 물방울 수평계를 이용한 두부 자세제현기를 고안하여 방사선사진 촬영 시 자연두부

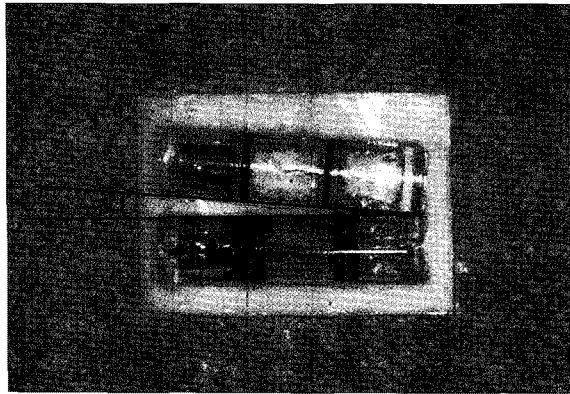


Fig 1. The modified Head Posture Aligner used in this study.

자세를 이용할 경우 두부의 측방회전은 ear rod에 의해 고정되고 두부의 수직회전은 자연두부자세에 의해 일정하게 재현될 수 있음을 보고하였다. 자연두부자세는 생리적으로 결정되는 자연스러운 고유 두부자세로,⁵ 두개안면부의 형태나⁶⁻⁸ 성장 양상⁹ 등과 관련되어 연구되어 왔으며 시간 경과에 관계 없이 높은 재현성을 나타낸다고 보고되었다.¹⁰⁻¹² 그러나 일반 환자에서는 이러한 두부자세가 일정하게 재현될 수 있는 반면 악교정 수술이나 정중구개 급속확장술을 시행한 경우에는 이 또한 변화될 수 있으며,¹³⁻¹⁶ 술자나 환자의 부주의로 이전과 다른 두부자세가 재현되어 다른 각도로 방사선사진이 촬영되는 경우도 있을 수 있으므로 이에 대한 대처가 필요한 실정이다. 실제 임상에서 정모두부방사선사진을 촬영한 후 이전의 사진과 중첩을 하고자 할 때 서로 다른 두부자세로 촬영된 것으로 드러날 경우 이전

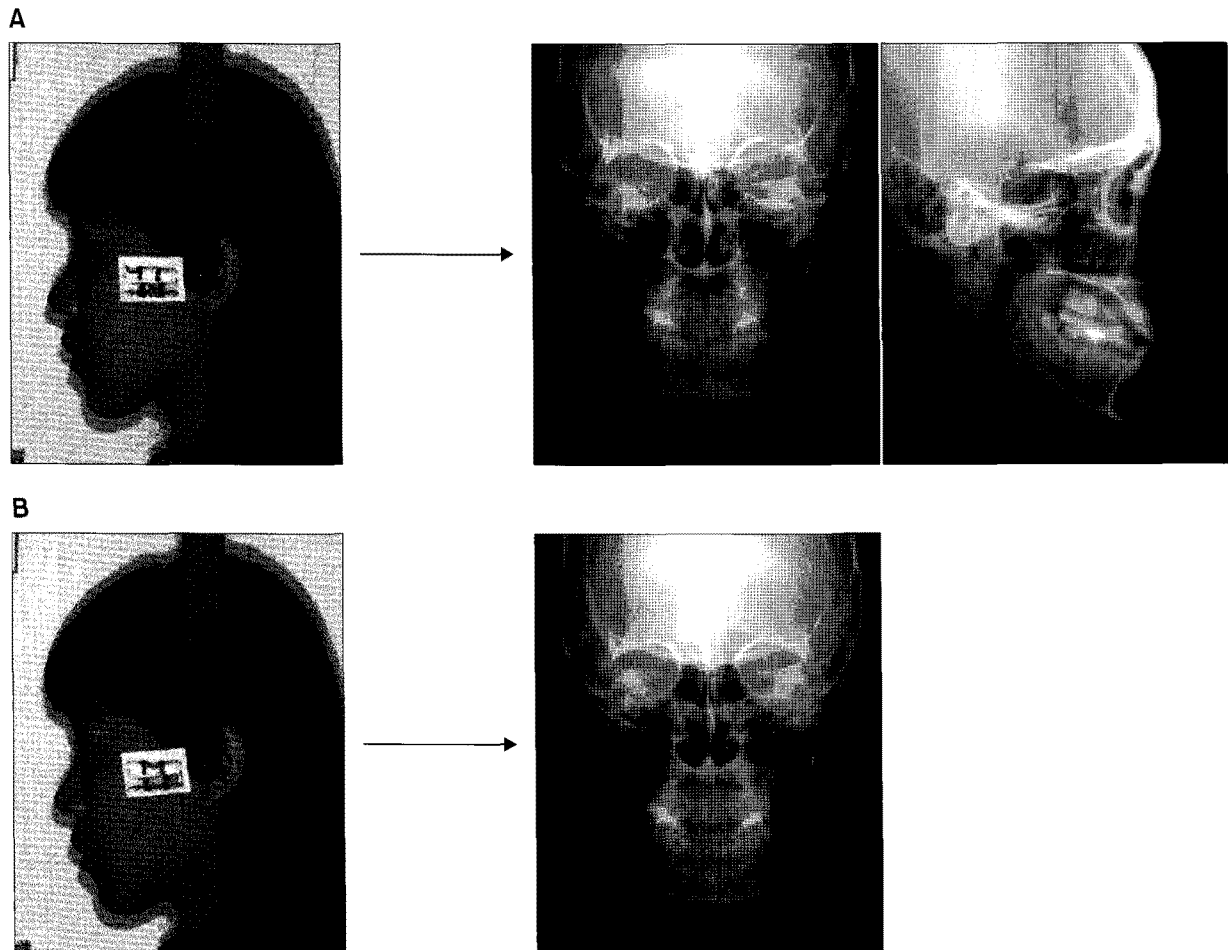


Fig 2. A, Frontal and lateral cephalograms were taken without head rotation using biplanar radiography; B, an additional frontal cephalogram was taken with the head rotated 5° down from the ear rod axis.

의 두부자세로 방사선사진상 계측점의 위치를 보정하는 것이 올바른 비교평가를 위하여 필요하다.

본 연구는 두부의 수직회전 시 정모두부방사선사진 상의 계측점 변화를 살펴보는 한편 방사선의 기하학적 원리를 이용하여 각 계측점의 위치를 회전 전 위치로 산출 보정하는 방법을 제시하고 이의 타당성을 알아보기 위하여 시행되었다.

연구방법

연구재료

본 연구는 임상검사를 통하여 뚜렷한 안면비대칭을 보이지 않는 성인 30명을 연구재료로 사용하였다.

연구방법

측모 및 정모두부방사선사진 촬영

두부를 일정각도 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점 변화를 계산으로 산출하기 위해 본 연구에서는 방사선의 기하학적 원리를 이용하고자 하였으며 이를 위해 정확하게 서로 90° 각도로 촬영된 정모와 측모방사선사진을 사용하기로 하였다. 이를 위해 Kim과 Hwang⁴의 방법에 따라 두부자세재현기

를 이용하여 동일한 두부자세에서 정모와 측모방사선사진을 각각 촬영하였다. 아울러 계산으로 산출된 계측점의 변화와 비교하는 대조치를 얻기 위해 실제로 두부를 수직회전시킨 상태에서 정모방사선사진을 추가로 촬영하였다. 본 연구에서는 두부를 하방으로 5° 수직회전시킨 경우를 산출하기로 하였으며 각 연구대상자에서 처음 정모방사선사진과 나중 정모방사선사진 간에 정확하게 5°의 두부회전 차이를 유도하기 위하여 그림과 같이 두 개의 두부자세재현기가 5° 각도를 이루도록 제작하여 사용하였으며 측모방사선사진 상에서 수평기준선을 작도하기 위하여 아래쪽의 물방울 수평계에 와이어를 부착하였다 (Figs 1 and 2).

투사도 작성 및 계측점 설정

촬영된 정모 및 측모방사선사진 상에 투사도를 작성한 후 Table 1과 같이 ANS, U1, L1, Me 등 4개의 정중계측점과 J, U6, L6, Go, Ag 등 5쌍의 양측성 계측점, 총 14개의 계측점을 설정하였다. 차후 계측점의 위치를 측정하기 위하여 정모방사선사진에서는 좌우 ear rod의 금속구를 지나는 선을 수평기준선으로, 이의 수직이등분선을 수직기준선으로, 측모방사선사진에서는 두부자세재현기 내의 와이어 상에 평행하면서 금속구를 지나는 선을 수평기준선으로, 이에 수직이면서 금속구를 지나는 선을 수직기

Table 1. Description of cephalometric landmarks used in this study

Landmark	Name	Definition
ANS	Anterior nasal spine	Tip of anterior nasal spine
J _{Rt}	Jugal process (Rt)	Intersection of jugal process with maxillary tuberosity (Right side)
J _{Lt}	Jugal process (Lt)	Intersection of jugal process with maxillary tuberosity (Left side)
U6 _{Rt}	Upper first molar (Rt)	Most buccal point on the crown of upper first molar (Right side)
U6 _{Lt}	Upper first molar (Lt)	Most buccal point on the crown of upper first molar (Left side)
L6 _{Rt}	Lower first molar (Rt)	Most buccal point on the crown of lower first molar (Right side)
L6 _{Lt}	Lower first molar (Lt)	Most buccal point on the crown of lower first molar (Left side)
U1	Upper incisors	Midpoint between upper central incisors at the level of incisor edges
L1	Lower incisors	Midpoint between lower central incisors at the level of incisor edges
Go _{Rt}	Gonion (Rt)	The most lateral and inferior point at the angle of the mandible (Right side)
Go _{Lt}	Gonion (Lt)	The most lateral and inferior point at the angle of the mandible (Left side)
Ag _{Rt}	Antegonion (Rt)	The deepest point in the antegonial notch (Right side)
Ag _{Lt}	Antegonion (Lt)	The deepest point in the antegonial notch (Left side)
Me	Menton	Point on inferior border of symphysis directly inferior to mental protuberance

준선으로 각각 정하였다 (Table 1 and Fig 3).

한편 설정된 정모와 측모방사선사진상의 계측점이 실제로는 같은 점이 아닐 수 있으므로 두 방사선 사진에서 동일한 계측점이 설정될 수 있도록 하기 위하여 3D Ceph™ (Department of Orthodontics, University of Illinois at Chicago, USA)과 3D Aligner™ (Department of Orthodontics, University of Illinois at Chicago, USA) 프로그램을 이용하였다.¹⁷ 이를 위해 먼저 평판 스캐너(Epson Expression 1600, Epson, Nagano, Japan)로 투사도를 스캔한 다음 이를 BMP 파일로 저장한 후 3D Ceph™ 프로그램에 정모 및 측모방사선사진 투사도와 14개의 계측점을 입력하였으며, 이를 3D Aligner™ 프로그램으로 송출하여 정모와 측모방사선사진을 나란히 위치시킨 후 “90° 각도로 두 필름이 위치할 경우 한 쪽 필름에 위치한 계측점은 다른 필름에 비치는 방사선 주사선에 놓이게 된다”라는 방사선의 기하학적 원리를 이용하여 각 계측점을 지나는 방사선 주사선이 서로 만나지 않을 경우 이들이 서로 만나도록 계측점의 위치를 수정하였다.¹⁸ 본 연구에 설정된 모든 계측점은 정모방사선사진 계측점이므로 정모방사선사진의 계측점을 기준으로 측모방사선사진의 계측점 위치를 수정하였다.

두부 수직회전 시 계측점 변화 산출

두부의 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 변화를 수직 및 수평방향으로 구분하여 산출하기 위하여 두부 회전 전 촬영된 정모방사선사진의 수평 및 수직기준선을 X, Y축으로 하여 회전 전 및 회전 후 각 계측점의 위치를 x, y 좌표계로 Fig 4A와 같이 (x_0, y_0) , (x_5, y_5) 로 각각 표시하고 계측점의 수평변화량(Δx)인 $x_5 - x_0$ 와 수직변화량(Δy)인 $y_5 - y_0$ 를 계산으로 산출하고자 하였다.

정모방사선사진 촬영 시 두부가 하방으로 수직회전하는 경우 계측점에 해당하는 구조물은 하방 및 후방으로 이동하며, 방사선원과 계측점 간의 거리 변화에 의해 회전 전후 정모방사선사진 확대율이 달라지므로 두부를 하방으로 5° 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 수직변화는 두부회전에 의한 계측점의 실제 수직변화와 확대율 차이에 의해서 나타난다. 그러나 두부가 수직회전 하더라도 측모방사선사진영상은 두드러진 변화를 나타내지 않으므로 측모방사선사진을 이용하여 두부회전 시 계측점의 실제 수직변화를 구하고자 하였다. 측모방사선사진 투사도를 방사선사진상 ear rod 금속구를 중심으로 하방으로 5° 회전시킨 후 회전 전 측모방사선사진 투사도와 중첩을 시행하여 회전 전 측모

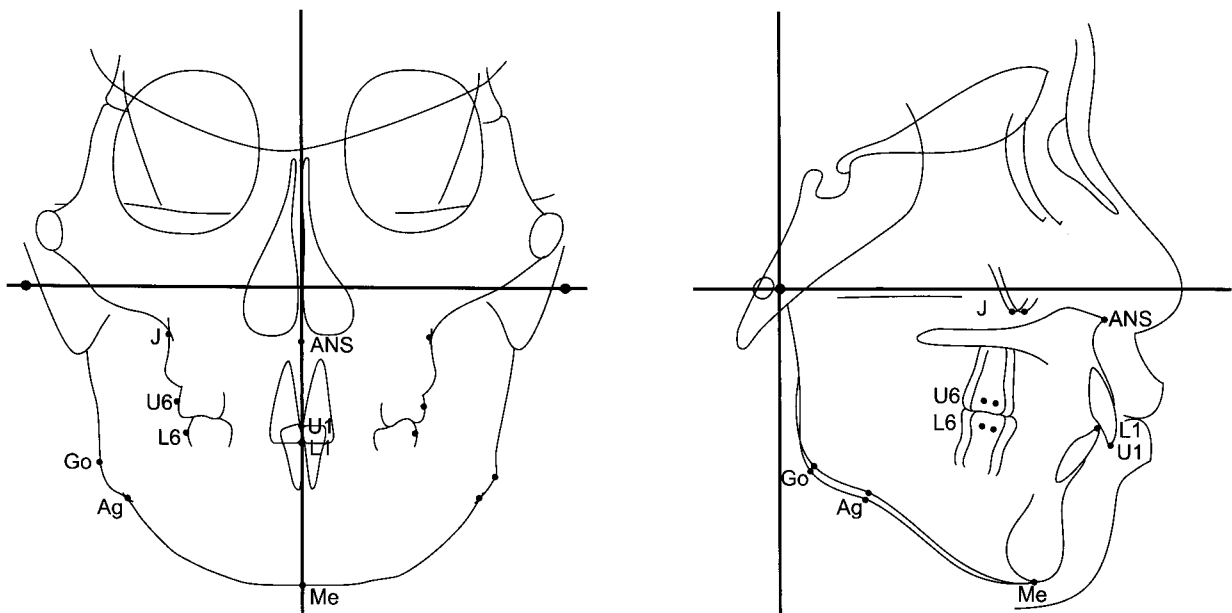


Fig 3. The horizontal reference line on frontal cephalogram was defined as a line passing through the two ear rod ball markers, and the vertical reference line as a perpendicular line passing mid-point of the length of the horizontal reference line. The horizontal reference line on lateral cephalogram was established by drawing a line parallel to the horizontal wire incorporated in the Head Posture Aligner and passing through the ear rod ball marker, and the vertical reference line as a perpendicular line passing through the ear rod ball marker.

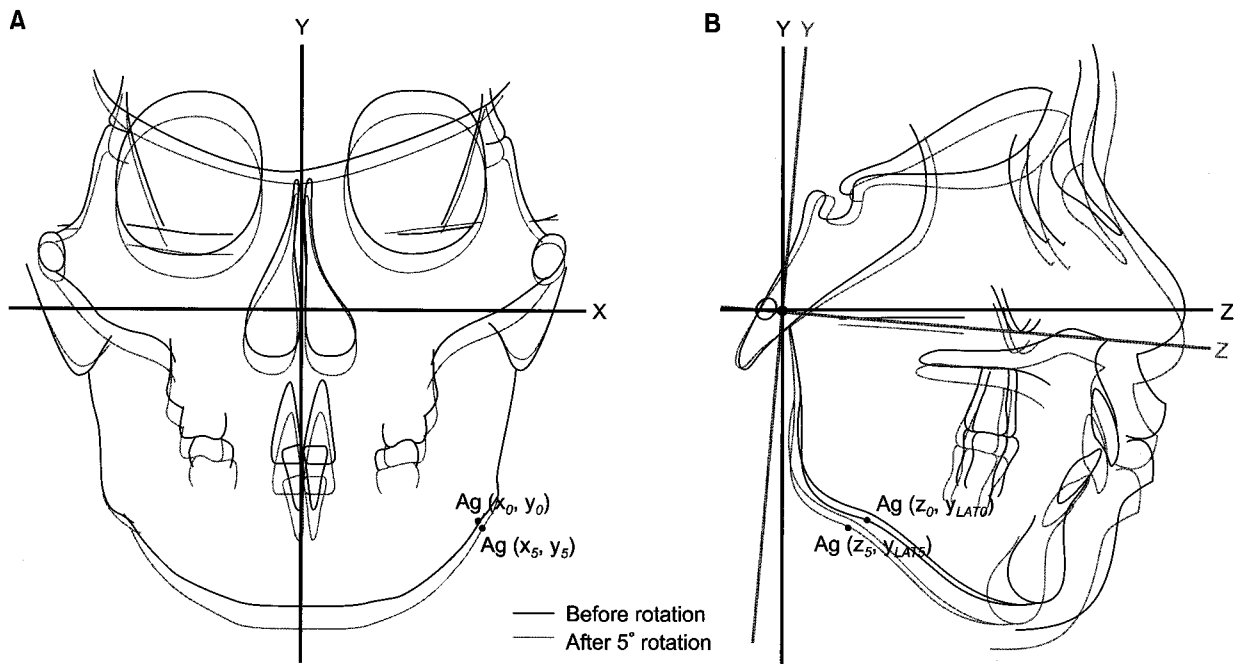


Fig 4. Simulation of positional change of a landmark before and after a 5° downward head rotation and represented using an x, y coordinate system. Antegonion is used as an example. **A**, Frontal cephalometric tracings before and after head rotation; **B**, lateral cephalometric tracings before and after head rotation.

방사선사진의 수평 및 수직 기준선을 Z, Y축으로 하여 회전 전후 각 계측점의 위치를 Fig 4B와 같이 (z₀, y_{LAT0}), (z₅, y_{LAT5})로 각각 표시하였다. 측모방사선 사진상 해당 계측점의 수직변화(Δy_{LAT})를 해당 부위의 측모방사선사진에서의 확대율(m_{LAT})로 나누어 두부회전 시 계측점의 실제 수직변화를 구한 후, 이 값과 회전 후 해당부위의 정모방사선사진에서의 확대율을 이용하여 다음과 같이 정모방사선사진상 계측점의 수직변화를 산출하였다.

$$\Delta y = \frac{\Delta y_{LAT}}{m_{LAT}} \cdot m_5$$

- m_{LAT}: 해당부위의 측모방사선사진에서의 확대율
- m₅: 두부 5° 회전 후 해당부위의 정모방사선사진에서의 확대율

두부를 하방으로 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 수직변화는 계측점의 실제 수직변화와 확대율 차이에 의해서 나타나는 반면, 수평변화는 확대율 차이에 의해서만 나타나므로 회전 전 정모방사선사진상 계측점의 수평위치(x₀) 및 확대율 차이를 이용하여 회전 후 수평변화를 다음과 같이 산출하였다.

$$\Delta x = \left(\frac{m_5}{m_0} - 1\right) \cdot x_0$$

- m₀: 두부 회전 전 해당부위의 정모방사선사진에서의 확대율

이때 두부회전 전 정모방사선사진 확대율은 방사선원으로부터 필름까지의 거리(본 연구에서는 1,500 + 150 mm)와 방사선원으로부터 해당 계측점까지의 거리 비율로 산출할 수 있으므로 ear rod 축에서부터 해당 계측점까지의 거리를 z₀'이라고 하고 다음과 같이 해당 계측점 부위의 정모방사선사진 확대율을 구하였다.

$$m_0 = \frac{1650}{1500 + z_0'}$$

그리고 ear rod 축에서부터 해당 계측점까지의 거리인 z₀'은 Fig 5와 같이 측모방사선사진 촬영 시 antegonion과 같은 양측성 구조물(bilateral structures)의 중점은 두개골의 형태가 대칭이라고 가정했을 때, 확대율이 110%인 ear rod의 중점과 동일한 평면상에 위치하며 이는 측모방사선사진상에 나타나는 양측성 계측점(bilateral landmarks)의 중점으로 투영된다고 가정하여 다음과 같이 구하였다 (Figs 5 and 6).

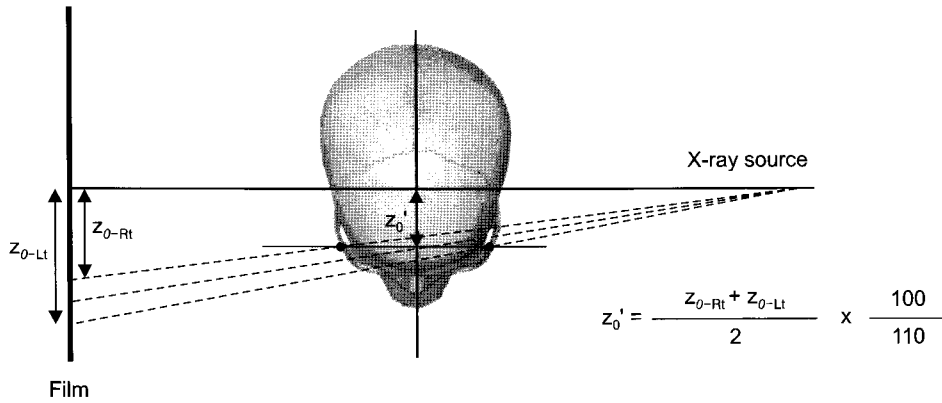


Fig 5. Method of calculating z_0' from lateral cephalogram. z_0' is the actual horizontal distance from the ear rod axis to midpoint between right and left antegonions. z_{0-Rt} is the horizontal position of right antegonion and z_{0-Lt} is the horizontal position of left antegonion on lateral cephalogram.

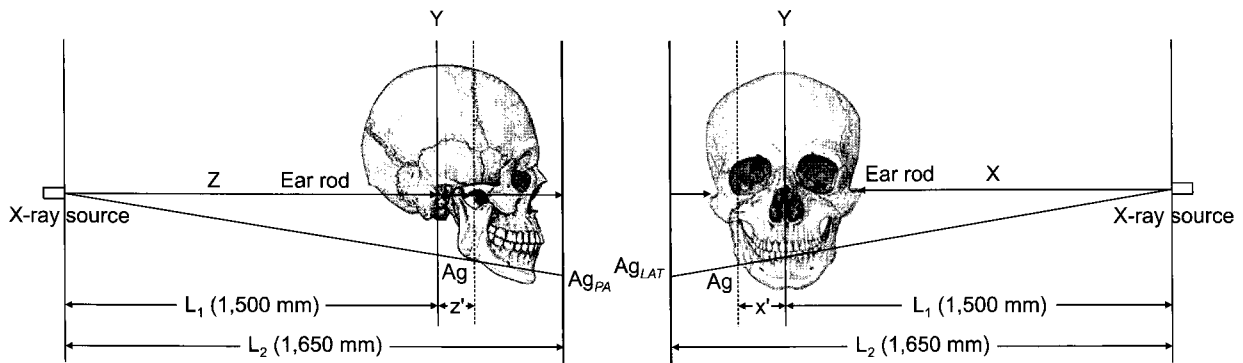


Fig 6. Schematic representation of radiographic magnification. Magnification of frontal cephalogram can be calculated using the lateral cephalogram, and magnification of lateral cephalogram can be calculated using the frontal cephalogram.

$$z_0' = \frac{z_{0-Rt} + z_{0-Lt}}{2} \times \frac{100}{110}$$

$$m_5 = \frac{1650}{1500 + z_5'}$$

한편 두부가 수직회전하더라도 측모방사선사진 확대율(m_{LAT})은 변하지 않으므로 ear rod의 중점과 동일한 평면상에 위치한 정중 계측점의 경우 확대율을 110%로 하였고, 양측성 계측점의 경우 회전 전 정모방사선사진상 계측점의 수평위치(x_0)를 확대율(m_0)로 나누어 실제거리(x_0')를 산출한 후 이 값을 이용하여 다음과 같이 그 부위에서의 확대율을 구하였다.

$$m_{LAT} = \frac{1650}{1500 + x_0'}$$

아울러 회전 후 정모방사선사진 확대율(m_5)은 회전 후 측모방사선사진에서 계측점의 수평위치(z_5)를 확대율(m_{LAT})로 나누어 실제거리(z_5')를 산출한 후 이 값을 이용하여 다음과 같이 구하였다.

이상과 같이 회전 전후 정모방사선사진 및 측모방사선사진의 확대율을 이용하여 전술한 바와 같이 회전 후 정모방사선사진상 계측점의 수직 및 수평 변화를 계측점별로 산출하였다.

두부 5° 수직회전 후 촬영된 정모방사선사진을 이용한 계측점의 실제변화 비교

계산으로 산출된 계측점의 변화와 비교하기 위한 대조치를 얻기 위해 두부를 하방으로 5° 수직회전시킨 후 촬영된 정모방사선사진상 각 계측점 위치를 회전 전 촬영된 정모방사선사진의 수평 및 수직 기준선을 X, Y축으로 하여 전술한 바와 동일한 방법으로 좌표계로 표시한 후 회전 전 촬영된 정모방사선사진상 계측점 위치와의 차이를 수직 및 수평

방향으로 구분하여 구하였다.

통계 및 분석

본 연구에서는 통계처리를 위해 SPSS version 14.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다. 두부 5° 수직회전 시 방사선의 기하학적 원리에 의해 산출된 계측점 변화와 실제 두부를 5°회전하여 구한 계측점 변화의 평균 및 표준편차를 구하는 한편 paired t-test를 시행하여 그 유의차를 검정하였다. 아울러 산출된 수치가 실제 수치에 얼마나 근접하는지 파악하기 위하여 산출된 수치와 실제 수치와의 차이를 절대값으로도 구하여 비교분석하였다. 부가적으로 Bland-Altman plot을 적용하여 x축은 계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치와의 평균을, y축은 두 수치의 차이값을 도표화하여 차이의 분포와 허용범위를 확인하였다. 한편 임의로 20개의 정모방사선사진을 선택하여 2주 간격으로 계측점을 설정하고 계측오차를 Dahlberg식을 이용하여 산출한 결과, 0.12 - 0.20 mm 범위의 비교적 작은 값을 보였다.

연구성적

두부를 5° 하방으로 수직회전 시 정모방사선사진상 각 계측점의 변화를 계산으로 산출하는 한편 실제로 두부를 5° 하방회전시키고 촬영한 정모방사선사진을 이용하여 계측점의 실제변화를 구한 결과 수직방향 변화의 경우 Table 2와 같은, 그리고 수평방향 변화의 경우 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

실제 수치를 이용하여 정모방사선사진상 각 계측점의 변화를 살펴본 결과 수평적으로는 계측점에 따라 0.03 - 0.16 mm의 작은 변화를 보인 반면 수직적으로는 1.19 - 7.48 mm 범위로 큰 변화를 나타내었다. 이를 계측점별로 살펴본 결과 ANS, UI, L1, Me과 같이 ear rod 축에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치를 비교하기 위하여 paired t-test를 시행한 결과 수직변화의 경우 본 연구에 사용된 14개 계측점 중 ANS, UI, L1, AgRt, Me을 제외한 나머지 9개 계측점에서, 수평변화의 경우 14개의 모든 계측점에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치의 차이를

Table 2. Comparison of calculated change with real cephalometric change in the vertical direction (unit: mm)

Landmark	Calculated change (A)	Cephalometric change (B)	Difference (A-B)	Absolute difference (A-B)	p value
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Δ ANS	7.12 ± 0.51	7.48 ± 0.61	-0.36 ± 0.35	0.39 ± 0.24	0.000*
Δ JRt	5.32 ± 0.45	5.28 ± 0.47	0.04 ± 0.26	0.20 ± 0.17	0.397
Δ JLt	5.27 ± 0.42	5.30 ± 0.48	-0.03 ± 0.18	0.12 ± 0.13	0.362
Δ U6Rt	4.79 ± 0.56	4.94 ± 0.65	-0.15 ± 0.41	0.30 ± 0.32	0.053
Δ U6Lt	4.72 ± 0.47	4.69 ± 0.55	0.03 ± 0.27	0.13 ± 0.29	0.557
Δ L6Rt	4.86 ± 0.62	4.92 ± 0.76	-0.06 ± 0.37	0.24 ± 0.29	0.378
Δ L6Lt	4.75 ± 0.52	4.85 ± 0.65	-0.10 ± 0.32	0.25 ± 0.22	0.094
Δ U1	7.25 ± 0.61	7.45 ± 0.67	-0.20 ± 0.35	0.31 ± 0.25	0.005*
Δ L1	6.98 ± 0.60	7.23 ± 0.80	-0.25 ± 0.48	0.35 ± 0.40	0.009*
Δ GoRt	0.94 ± 0.46	1.02 ± 0.56	-0.09 ± 0.27	0.19 ± 0.20	0.094
Δ GoLt	1.00 ± 0.61	1.07 ± 0.74	-0.08 ± 0.31	0.18 ± 0.26	0.196
Δ AgRt	2.08 ± 0.59	2.14 ± 0.67	-0.06 ± 0.15	0.12 ± 0.11	0.030*
Δ AgLt	2.17 ± 0.49	2.13 ± 0.56	0.04 ± 0.27	0.17 ± 0.21	0.405
Δ Me	5.86 ± 0.81	6.21 ± 0.97	-0.35 ± 0.38	0.39 ± 0.32	0.000*

SD, Standard deviation. *p < 0.05.

Table 3. Comparison of calculated change with real cephalometric change in the horizontal direction (unit: mm)

Landmark	Calculated change (A)	Cephalometric change (B)	Difference (A-B)	Absolute difference (A-B)	p value
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Δ ANS	0.01 ± 0.06	0.04 ± 0.23	-0.03 ± 0.23	0.14 ± 0.18	0.472
Δ J _{Rt}	0.06 ± 0.06	0.08 ± 0.21	-0.01 ± 0.21	0.13 ± 0.16	0.738
Δ J _{Lt}	0.03 ± 0.14	0.12 ± 0.22	-0.09 ± 0.23	0.14 ± 0.20	0.054
Δ U _{6Rt}	0.08 ± 0.06	0.15 ± 0.21	-0.07 ± 0.23	0.16 ± 0.18	0.106
Δ U _{6Lt}	0.07 ± 0.11	0.10 ± 0.13	-0.03 ± 0.13	0.12 ± 0.10	0.298
Δ L _{6Rt}	0.09 ± 0.07	0.06 ± 0.16	0.03 ± 0.16	0.12 ± 0.11	0.388
Δ L _{6Lt}	0.08 ± 0.10	0.10 ± 0.18	-0.01 ± 0.19	0.14 ± 0.12	0.741
Δ U1	0.00 ± 0.00	0.03 ± 0.16	-0.03 ± 0.16	0.11 ± 0.12	0.289
Δ L1	0.01 ± 0.04	0.03 ± 0.18	-0.02 ± 0.18	0.13 ± 0.13	0.532
Δ G _{ORt}	0.19 ± 0.15	0.10 ± 0.09	0.09 ± 0.14	0.19 ± 0.10	0.051
Δ G _{OLt}	0.20 ± 0.20	0.16 ± 0.20	0.04 ± 0.26	0.20 ± 0.16	0.364
Δ A _{GRt}	0.20 ± 0.12	0.16 ± 0.32	0.04 ± 0.27	0.20 ± 0.18	0.456
Δ A _{GLt}	0.19 ± 0.09	0.13 ± 0.23	0.06 ± 0.23	0.20 ± 0.12	0.161
Δ Me	0.01 ± 0.05	0.03 ± 0.28	-0.02 ± 0.28	0.17 ± 0.23	0.408

SD, Standard deviation.

절대값으로 살펴본 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 차이를 보였다. 이러한 차이를 계측점별로 살펴본 결과 측면에서 보았을 때 ear rod 축에서 비교적 가까운 계측점인 Go, Ag의 경우 0.1 - 0.2 mm의 차이를, 그리고 ear rod 축에서 멀리 떨어진 ANS, U1, L1, Me의 경우 0.3 - 0.4 mm의 차이를 보여 두부의 수직회전에 영향을 크게 받는 계측점일수록 그 차이가 큰 경향을 보였다 (Tables 2 and 3).

아울러 각 계측점마다 Bland-Altman plot을 분석한 결과 두 측정값의 차이와 평균 사이에 어떠한 상관관계도 보이지 않았으며 대부분의 95% 신뢰구간 안에 분포하였다. 실제 수치와 통계적으로 유의한 차이를 보인 계측점 ANS, U1, L1, A_{GRt}, Me의 경우에도 측정값들이 Bland-Altman plot의 허용범위 내에 있는 것으로 나타났다 (Fig 7).

고찰

두부방사선규격사진은 치과교정학 분야, 즉 두개안면부의 성장과 발육의 이해, 두개안면부와 치열과의 관계에 대한 분석, 교정치료의 진단과 치료계

획 수립 및 치료결과의 평가에 유용하게 사용되고 있다. 특히, 시간간격을 두고 연속적으로 촬영된 방사선사진의 중첩을 통하여 치료경과의 평가와 치료전후 비교에 매우 유용하게 사용되고 있다.

두부방사선규격사진 촬영 시 피사체의 두부위치를 고정하기 위하여 두부고정기를 사용하고 있으나 두부고정기의 ear rod는 좌우 외이도에 위치되므로 두부의 측방회전은 나타나지 않는 반면 수직회전은 일정하게 고정할 수 없어 촬영 시마다 두부위치가 변하게 된다. 측모방사선사진 촬영 시에는 방사선원의 중앙조사선(central ray)과 두부의 회전축, 즉 좌우 ear rod를 연결한 축이 일치하므로 두부가 상하로 회전되더라도 전체적인 상의 위치만 주로 변화될 뿐 계측점들간의 관계는 크게 변하지 않기 때문에 두부가 회전하여도 상의 크기나 형태가 달라지지 않지만,^{19,20} 정모방사선사진에서는 두부가 상하로 회전한다면 각각의 계측점들은 수직방향의 변화와 계측점과 필름간 거리 변화에 따라 수평방향으로의 확대 또는 축소가 일어난다. 따라서 시간간격을 두고 연속 촬영된 정모방사선사진의 중첩 시 문제를 초래할 뿐만 아니라 안면비대칭 정도와 양상의 파악, 안면골격의 형태나 크기의 판단에도 문

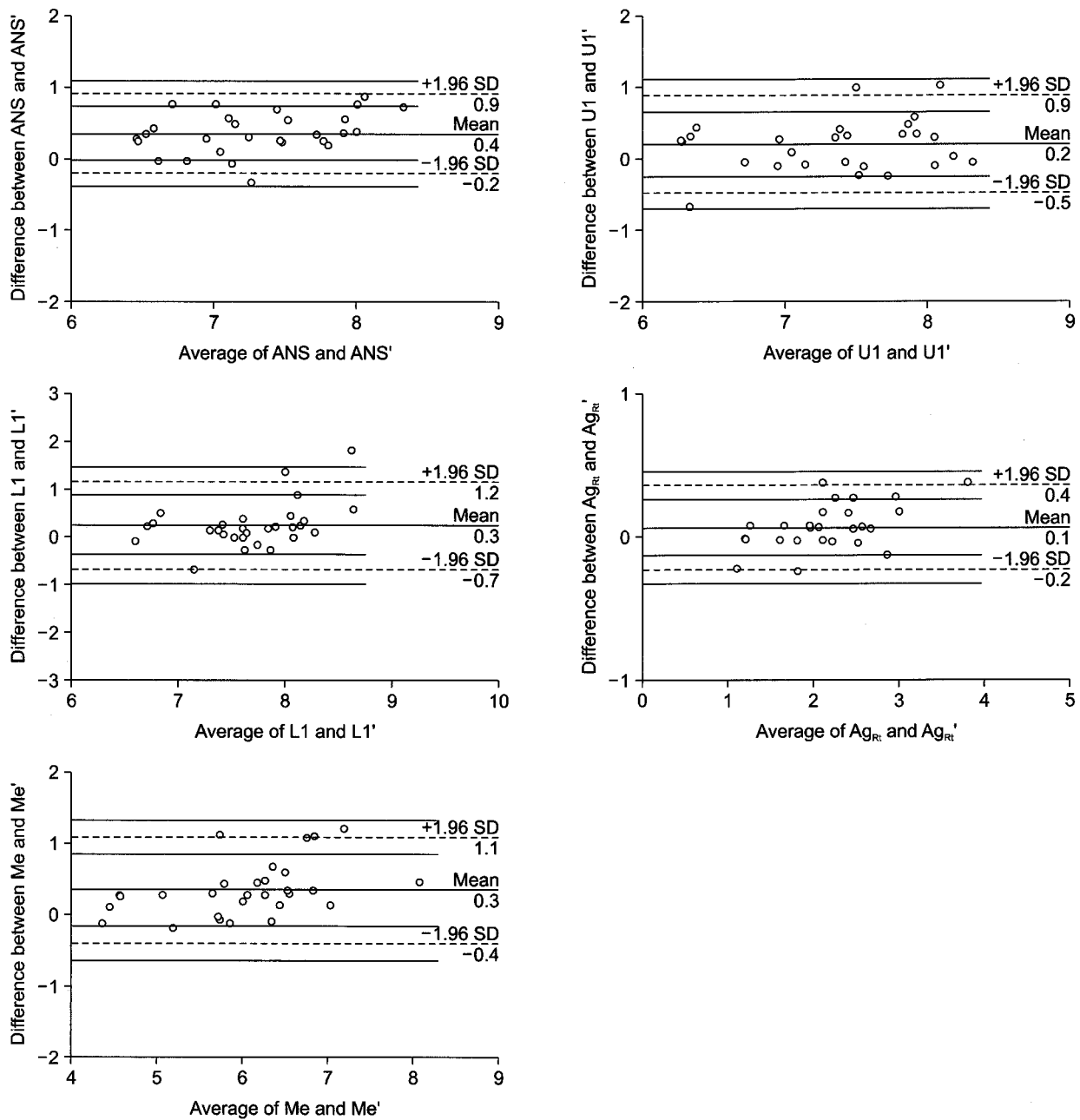


Fig 7. Bland-Altman plots for variables ANS, U1, L1, Ag_{Rt}, and Me in the vertical direction. The x-axis shows the average of the calculated and cephalometric changes, whereas the y-axis represents the difference between the two measurements. The limits of agreement are indicated by horizontal lines.

제를 초래한다. Koh 등²은 최근의 연구에서 두부의 수직회전에 의해 정모방사선사진상에 투사오차가 발생함을 보였으며 따라서 유용한 정모방사선사진을 얻기 위해서는 촬영 때마다 동일한 두부자세를 유지하기 위한 노력이 필요하다고 하였다.

두부방사선사진 촬영 시 동일한 두부자세를 유지

하기 위해 자연두부자세의 개념이 1950년대 교정학에 도입되어 두개안면부의 형태, 성장양상 등과 관련지어 연구되어 왔으며, Cooke과 Wei,¹⁰ Cooke,¹¹ Peng과 Cooke¹²은 시간 경과에 관계없이 자연두부자세의 재현성이 높음을 보고한 바 있다. 최근 Kim과 Hwang⁴은 자연두부자세를 유도하기 위해 두부

자세재현기를 사용할 경우 두부의 측방회전은 ear rod에 의해 고정되고 두부의 수직회전은 자연두부 자세에 의해 일정하게 재현될 수 있음을 보고하였다.

그러나 일반 환자에서는 두부자세를 일정하게 재현할 수 있는 반면 악교정수술을 시행한 경우 수술 후 자연두부자세가 변화한다는 보고가 있으며,^{13,14} Wenzel 등¹³은 하악골의 형태나 기능에 의해 자연두부자세가 결정된다고 하였고, Tecco 등,¹⁵ McGuinness와 McDonald¹⁶은 정중구개 급속확장술 시행 후 airway resistance의 변화에 의해 두부자세가 변화한다고 하였다. 아울러 환자의 자연두부자세가 변화하지 않을지라도 두부자세재현기를 사용하여 방사선사진 촬영 시 술자나 환자의 부주의로 인해 이전과는 다른 두부자세로 방사선사진이 촬영되는 경우도 있을 수 있다. 이와 같이 이전과는 다른 두부자세로 정모방사선사진이 촬영되는 경우 방사선사진의 중첩 및 분석에 어려움이 있으므로 이를 위해서 이전의 두부자세로 정모방사선사진의 계측점 위치를 보정하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 4개의 정중 계측점과 5쌍의 양측성 계측점을 선정한 후 두부의 5° 수직회전 시 계측점의 변화를 수직 및 수평으로 구분하여 살펴보는 한편 이러한 변화를 계산을 통해 산출한 후 이 산출방법이 타당한지 알아보고자 하였다.

Ahlqvist 등²¹은 임상에서 술자가 주의를 기울여 환자의 두부를 위치시키는 경우 5° 이상의 두부회전은 나타나지 않는다고 하였으며, Kim과 Hwang⁴은 통상적으로 술자가 두부자세를 유도하여 정모와 측모사진을 촬영한 결과 두부의 수직회전 정도가 2.49°로 나타났다고 보고하였다. 이를 바탕으로 하여 본 연구는 실제 임상에서 발생 가능한 정도의 두부의 수직회전 시 계측점의 변화를 알아보기 위하여 두부의 수직회전 각도를 5°로 설정하여 연구를 시행하였다.

한편 방사선의 기하학적 원리를 이용하면 피사체의 특정 부위 확대율을 산출할 수 있고 이를 이용하여 실제거리를 계산할 수 있으므로 두부의 수직회전이 다른 상태로 방사선사진이 촬영되는 경우 biplanar radiography 원리를 이용하여 정모방사선사진의 계측점을 계산에 의해 다른 수직회전 상태의 계측점 위치로 보정하는 것이 가능하며, 이는 정모 및 측모방사선사진이 완벽하게 90°가 되어야 하는 것을 전제로 하고 있다. Kim과 Hwang⁴은 물방울 수평계의 원리를 이용한 두부자세재현기를 많은 연구와

임상에서 적용하고 있는 바 본 연구에서는 이를 이용하여 카세트와 방사선원이 한 개만 있는 방사선 촬영장치에서 동일한 두부자세의 정모 및 측모사진을 서로 직각이 되도록 촬영하였다.

그러나 임상에서 biplanar method를 이용하기 위해서는 어느 하나의 계측점이 각각의 사진에 동일하게 설정되어야 하는데, 얼굴에 금속구와 같은 구조물이 있다면 가능한 반면 신체구조는 같은 구조물이라도 보는 각도에 따라 달리 보이므로 하나의 계측점을 동일하게 설정하는 것은 불가능하고 다소의 오차가 불가피하게 발생할 수 밖에 없다. Brown과 Abbott¹⁸은 “90° 각도로 두 필름이 위치할 경우 한 쪽 필름에 위치한 계측점은 다른 필름에 비치는 방사선 주사선상에 놓이게 된다”는 방사선의 기하학적 성질을 이용하여 어느 한 점을 기준으로 다른 사진상의 계측점을 의도적으로 수정하는 방법을 소개하였다. 즉 필름면을 중심으로 정모와 측모방사선사진을 나란히 위치시킨 다음 정모와 측모방사선사진의 계측점을 지나는 방사선 주사선이 필름에서 서로 만나지 않을 경우 이들이 서로 만나도록 정모와 측모방사선사진 중 잘 보이는 계측점을 기준으로 다른 계측점을 수정하는 방법을 소개하였다. 한편 Kusnoto 등¹⁷은 이러한 algorithm을 사용하여 계측점을 보정할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발한 바 있어 본 연구에서는 이를 이용하여 정모와 측모방사선사진상 계측점의 위치를 수정하였다. 사용된 모든 계측점은 정모방사선사진 계측점이므로 이를 기준으로 측모방사선사진의 계측점을 수정하였다.

Hsiao 등²²은 건조두개골의 계측점에 금속구를 부착한 후 90° 각도로 촬영된 정모 및 측모방사선사진을 이용하여 정모방사선사진의 폭경계측치 확대를 보정한 후 이를 건조두개골의 실제 폭경계측치와 비교하여 biplanar method를 이용한 확대율 보정의 정확성에 대해 보고한 바 있다. 그러나 확대율 산출 시 정모방사선사진에서는 각 계측점마다 확대율을 계산한 반면 측모사진에서는 모든 계측점의 확대율을 110%로 간주하여 계산하였다. 정중 계측점의 경우 측모방사선사진의 확대율을 110%로 간주하여도 피사체가 심한 비대칭을 나타내지 않는 이상 그 수치가 비교적 정확할 수 있으나 양측성 계측점의 경우 우측은 확대율이 110%보다 작고 좌측은 110%보다 크므로 보다 더 정확한 보정을 위하여 정모뿐만 아니라 측모방사선사진도 확대율을 각 계측점마다 계산해야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 계측점마다 정모 및 측모방사선사진의 확대율을 계산하

였으며 이를 위하여 측모방사선사진 촬영 시 *antegonion*과 같은 양측성 구조물(*bilateral structure*)의 중점이 확대율이 110%인 *ear rod*의 중점과 동일한 평면상에 위치하며 이는 두개골이 대칭이라는 전제 하에 측모방사선사진상에 나타나는 양측성 계측점 (*bilateral landmark*)의 중점으로 투영된다고 가정하였다. 그러나 실제 양측성 구조물의 중점은 측모방사선사진상 양측성 계측점의 중점보다 *ear rod*측에 가깝게 투사되므로, 방사선원으로부터 구조물까지의 거리가 실제보다 크게 계산되지만 본 연구결과 확대율 계산에 대한 이의 영향은 미미한 것으로 보이며, 측모방사선사진의 확대율을 일률적으로 110%로 계산한 기존의 연구에 비해 더욱 정확한 보정이 이루어졌으리라 믿는다.

실제로 두부를 5° 하방으로 수직회전시킨 후 촬영된 정모방사선사진을 이용하여 계측점의 실제 변화를 살펴본 결과 수평적으로는 0.03 - 0.16 mm의 차이를 나타낸 반면, 수직적으로는 1.19 - 7.48 mm의 차이를 나타내어 전반적으로 수평변화에 비해 수직변화가 크게 나타나는 경향을 보였다. 이를 계측점별로 살펴본 결과 수직변화의 경우 ANS, U1, L1, Me과 같이 *ear rod* 측에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다. 두부의 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 수직변화는 계측점의 실제 수직변화와 확대율 차이에 의해 나타나는데 *ear rod*에서 전방으로 멀리 떨어질수록 피사체의 실제 수직변화가 크게 나타나고 하방으로 멀리 떨어질수록 확대율의 변화가 크게 나타난다. 본 연구결과 수직변화의 경우 ANS, U1, L1, Me과 같이 *ear rod* 측에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났는데 이는 확대율의 차이보다 실제 수직변화가 정모방사선사진상 수직변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 이해되었다. 반면 수평변화의 경우 확대율에 의해서만 영향을 받으므로 *ear rod* 측에서 하방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 변화가 크게 나타날 것으로 예상되나 계측점에 따른 변화가 일정한 양상을 보이지 않았으며, 이는 수평변화의 경우 그 차이가 0.2 mm 미만으로 미미하여 확대율에 의한 영향보다 계측점의 식별오차에 의한 영향이 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치간의 paired *t-test*를 시행한 결과 수직변화의 경우 본 연구에서 사용된 14개 계측점 중 ANS, U1, L1, Ag_R, Me를 제외한 나머지 9개 계측점에서, 수평변화의 경우 14개

의 모든 계측점에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 수직변화의 경우 ANS, U1, L1, Me에서 통계적으로 유의한 차이가 나타난 이유는 이 계측점들이 *ear rod* 측에서 전방으로 멀리 위치하여 두부의 수직회전 시 수직변화량이 다른 계측점에 비해 크게 나타나 이에 비례하여 산출된 수치와 실제 수치 간의 차이가 증가한 것으로 이해되어졌다. Ag_R의 경우 통계적 차이를 나타낸 이유를 두 가지로 나누어 생각할 수 있는데 첫 번째는 계측점 수정시의 오차이며 두 번째는 계측점의 식별오차이다. 본 연구에서는 정모와 측모방사선사진에서 동일한 계측점을 설정하기 위하여 *Aligner™* 프로그램을 이용하였다. 이는 가운데에 가상의 필름이 있고 그 좌측에 측모방사선사진을, 우측에는 정모방사선사진을 나란히 위치시킨 후 각 계측점을 지나는 방사선 주사선이 서로 만나도록 계측점의 위치를 수정하도록 되어있는데, 계측점 수정 시 측모방사선사진의 Ag, Go는 좌우 계측점에서 필름까지의 거리가 비슷하므로 이를 지나는 방사선 주사선이 필름의 비슷한 위치로 투사되는 반면, 정모방사선사진의 Ag, Go는 좌측에 비해 우측의 계측점이 필름면에 가깝게 위치하므로 이를 지나는 방사선 주사선이 좌측에 비해 우측의 경우 필름의 상방으로 투사된다. 즉, 계측점 수정 시 우측에 위치한 계측점의 경우 정모와 측모방사선사진간에 수직적으로 큰 오차를 보였으며 이로 인해 Ag_R의 경우 계산에 의해 산출된 변화와 실제 변화 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타난 것으로 보이며 Go 또한 좌측보다 우측에서 통계적 유의성이 높게 나타난 것으로 생각된다. 또한 Ag은 어느 한 점으로 정해진 계측점이 아니라 두 구조물의 경계선상에 존재하는 계측점이므로 바라보는 방향에 따라 그 위치가 가변적일 수 있으며 마찬가지로 두부의 수직회전에 따라 위치가 변할 수 있으므로 회전 전 및 후의 계측점 설정 시 오차가 발생했으리라 생각된다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치의 차이를 절대값으로 살펴본 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 차이를 보였다. 이러한 차이를 계측점별로 살펴본 결과 수직방향의 경우 *ear rod* 측에서 비교적 가까운 계측점인 Go, Ag은 0.1 - 0.2 mm의 차이를, 그리고 *ear rod* 측에서 멀리 떨어진 ANS, U1, L1, Me은 0.3 - 0.4 mm의 차이를 보여 두부의 수직회전에 영향을 크게 받는 계측점일수록 그 차이가 큰 경향을 보임을 알 수 있었으며, 수평방향의 경우 계측점에 따른

일정한 양상을 보이지 않음을 알 수 있었다.

Major 등²³은 정모방사선사진에서 계측점의 식별 오차에 관한 연구에서 1.5 mm 이상의 오차를 나타내는 계측점은 가능한 사용하지 말아야 하며 2.5 mm 이상의 오차를 나타내는 경우 계측점으로 부적절하다고 보고하였다. 본 연구에서 biplanar radiography 원리를 이용하여 계측점의 변화를 산출한 후 실제변화와 비교한 결과 수직변화는 0.4 mm 미만의 차이를 수평변화는 0.2 mm 미만의 차이를 나타내었으므로, 임상에서 정모방사선사진 촬영 시 이전과 다른 두부 자세로 촬영되는 경우 본 연구결과에 사용된 방법을 이용한다면 회전전의 계측점 위치로 보정이 가능하므로 시간차를 두고 촬영한 정모방사선사진의 임상에서의 중첩 및 이를 이용한 연구에 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

결론

동일한 두부자세에서 정모 및 측모방사선사진을 서로 직각이 되게끔 촬영한 다음 두부를 5° 하방으로 수직회전 시 정모방사선사진상 여러 계측점의 변화를 방사선의 기하학적 원리를 이용하여 수직 및 수평방향으로 구분하여 산출한 후, 이를 실제로 두부를 5° 회전시킨 상태에서 촬영한 정모방사선사진에서의 계측점 변화와 비교분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실제로 두부를 5° 회전시킨 상태에서 촬영한 정모방사선사진에서의 계측점 변화를 수평방향과 수직방향으로 구분하여 살펴본 결과 수평적으로는 작은 변화를 보인 반면 수직적으로는 전반적으로 큰 변화를 나타내었다.
2. 두부 회전 시 수직변화를 계측점별로 살펴본 결과 ear rod측에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일 수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다.
3. 두부의 5° 수직회전 시 계측점의 변화를 계산을 통해 산출한 후, 산출된 수치와 실제 수치를 비교한 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 수치를 나타내었다.
4. 계산을 통해 얻은 수치와 실제 수치의 차이를 계측점별로 살펴본 결과 두부의 수직회전에 영향을 적게 받는 계측점일수록 그 차이가 작은 경향을 보였다.

이상의 결과는 정모 및 측모두부방사선사진을 서로 직각이 되게끔 촬영할 경우, 두부의 수직회전으로 인한 정모두부방사선사진상의 계측점 변화를 회전 전 위치로 산출 보정하는 것이 가능함을 보여주었다.

참고문헌

1. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1931;1:45-66.
2. Koh EH, Lee KH, Hwang HS. Effects of vertical head rotation on the posteroanterior cephalometric measurements. *Korean J Orthod* 2003;33:73-84.
3. Proffit WR. The search for truth: diagnosis. In: Proffit WR, White RP editors. *Surgical orthodontic treatment*. St. Louis: Mosby-Year Book; 1991. p. 96-141.
4. Kim EH, Hwang HS. The validity of Head Posture Aligner in posteroanterior cephalometry. *Korean J Orthod* 2000;30:543-52.
5. Cooke MS, Wei SH. An improved method for the assessment of the sagittal skeletal pattern and its correlation to previous methods. *Eur J Orthod* 1988;10:122-7.
6. Solow B, Tallgren A. Natural head position in standing subjects. *Acta Odontol Scand* 1971;29:591-607.
7. Solow B, Tallgren A. Head posture and craniofacial morphology. *Am J Phys Anthropol* 1976;44:417-35.
8. Solow B, Tallgren A. Dentoalveolar morphology in relation to craniocervical posture. *Angle Orthod* 1977;47:157-64.
9. Solow B, Siersbaek-Nielsen S. Growth changes in head posture related to craniofacial development. *Am J Orthod* 1986;89:132-40.
10. Cooke MS, Wei SH. The reproducibility of natural head posture: a methodological study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:280-8.
11. Cooke MS. Five-year reproducibility of natural head posture: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:489-94.
12. Peng L, Cooke MS. Fifteen-year reproducibility of natural head posture: A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:82-5.
13. Wenzel A, Williams S, Ritzau M. Relationships of changes in craniofacial morphology, head posture, and nasopharyngeal airway size following mandibular osteotomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:138-43.
14. Achilleos S, Krogstad O, Lyberg T. Surgical mandibular setback and changes in uvuloglossopharyngeal morphology and head posture: a short- and long-term cephalometric study in males. *Eur J Orthod* 2000;22:383-94.
15. Tecco S, Festa F, Tete S, Longhi V, D'Attilio M. Changes in head posture after rapid maxillary expansion in mouth-breathing girls: a controlled study. *Angle Orthod* 2005;75:171-6.
16. McGuinness NJ, McDonald JP. Changes in natural head position observed immediately and one year after rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 2006;28:126-34.
17. Kusnoto B, Evans CA, BeGole EA, de Rijk W. Assessment of 3-dimensional computer-generated cephalometric measure-

- ments. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:390-9.
18. Brown T, Abbott AH. Computer-assisted location of reference points in three dimensions for radiographic cephalometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;95:490-8.
 19. Eliasson S, Welander U, Ahlqvist J. The cephalographic projection. Part I: General considerations. *Dentomaxillofac Radiol* 1982;11:117-22.
 20. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The cephalometric projection. Part II. Principles of image distortion in cephalography. *Dentomaxillofac Radiol* 1983;12:101-8.
 21. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on cephalometric length measurements. *Eur J Orthod* 1986;8:141-8.
 22. Hsiao TH, Chang HP, Liu KM. A method of magnification correction for posteroanterior radiographic cephalometry. *Angle Orthod* 1997;67:137-42.
 23. Major PW, Johnson DE, Hesse KL, Glover KE. Landmark identification error in posterior anterior cephalometrics. *Angle Orthod* 1994;64:447-54.

Correction of positional change of frontal cephalometric landmarks caused by vertical head rotation

Mi-Young Kim, DDS, MSD,^a Kyung-Min Lee, DDS, MSD,^a Jin-Hyoung Cho, DDS, MSD, PhD,^b
Hyeon-Shik Hwang, DDS, MSD, PhD^c

Objective: Superimposition of frontal cephalograms cannot be performed when the cephalograms are taken with different vertical head rotations. The purpose of the present study was to evaluate the validity of correcting the positional change of frontal cephalometric landmarks caused by vertical head rotation. **Methods:** In 30 adult individuals, frontal and lateral cephalograms were taken at a 90° angle. Geometric principles of radiography were used to calculate the possible vertical and horizontal landmark changes if the head should be rotated down 5° about an ear rod axis. The calculated changes were then compared with cephalometric changes measured on frontal cephalogram actually taken with the head rotated down 5°. **Results:** When the frontal cephalograms were taken with the head rotated down 5° about an ear rod axis, significant changes in the vertical position of the landmarks occurred, particularly in the landmarks located farther anteriorly from the ear rod axis. The comparison of calculated changes and real cephalometric changes showed that the differences were less than 0.4 mm in the vertical direction and less than 0.2 mm in the horizontal direction. The differences between calculated and real changes were smaller in the landmarks less affected by vertical head rotation. **Conclusions:** Even when frontal cephalograms are taken at different vertical head rotations, the concomitant changes in the position of the landmarks can be corrected through calculation using the geometric principle of radiography as long as frontal and lateral cephalograms are taken perpendicular to each other. (*Korean J Orthod* 2011;41(2):98-111)

Key words: Frontal cephalogram, Vertical head rotation, Correction

^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 December 22, 2010; Last Revision February 28, 2011; Accepted March 4, 2011.

준선으로 각각 정하였다 (Table 1 and Fig 3).

한편 설정된 정모와 측모방사선사진상의 계측점이 실제로는 같은 점이 아닐 수 있으므로 두 방사선사진에서 동일한 계측점이 설정될 수 있도록 하기 위하여 3D Ceph™ (Department of Orthodontics, University of Illinois at Chicago, USA)과 3D Aligner™ (Department of Orthodontics, University of Illinois at Chicago, USA) 프로그램을 이용하였다.¹⁷ 이를 위해 먼저 평판 스캐너(Epson Expression 1600, Epson, Nagano, Japan)로 투사도를 스캔한 다음 이를 BMP 파일로 저장한 후 3D Ceph™ 프로그램에 정모 및 측모방사선사진 투사도와 14개의 계측점을 입력하였으며, 이를 3D Aligner™ 프로그램으로 송출하여 정모와 측모방사선사진을 나란히 위치시킨 후 “90° 각도로 두 필름이 위치할 경우 한 쪽 필름에 위치한 계측점은 다른 필름에 비치는 방사선 주사선에 놓이게 된다”라는 방사선의 기하학적 원리를 이용하여 각 계측점을 지나는 방사선 주사선이 서로 만나지 않을 경우 이들이 서로 만나도록 계측점의 위치를 수정하였다.¹⁸ 본 연구에 설정된 모든 계측점은 정모방사선사진 계측점이므로 정모방사선사진의 계측점을 기준으로 측모방사선사진의 계측점 위치를 수정하였다.

두부 수직회전 시 계측점 변화 산출

두부의 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 변화를 수직 및 수평방향으로 구분하여 산출하기 위하여 두부 회전 전 촬영된 정모방사선사진의 수평 및 수직기준선을 X, Y축으로 하여 회전 전 및 회전 후 각 계측점의 위치를 x, y 좌표계로 Fig 4A와 같이 (x_0, y_0) , (x_5, y_5) 로 각각 표시하고 계측점의 수평변화량(Δx)인 $x_5 - x_0$ 와 수직변화량(Δy)인 $y_5 - y_0$ 를 계산으로 산출하고자 하였다.

정모방사선사진 촬영 시 두부가 하방으로 수직회전하는 경우 계측점에 해당하는 구조물은 하방 및 후방으로 이동하며, 방사선원과 계측점 간의 거리 변화에 의해 회전 전후 정모방사선사진 확대율이 달라지므로 두부를 하방으로 5° 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 수직변화는 두부회전에 의한 계측점의 실제 수직변화와 확대율 차이에 의해서 나타난다. 그러나 두부가 수직회전 하더라도 측모방사선사진영상은 두드러진 변화를 나타내지 않으므로 측모방사선사진을 이용하여 두부회전 시 계측점의 실제 수직변화를 구하고자 하였다. 측모방사선사진 투사도를 방사선사진상 ear rod 금속구를 중심으로 하방으로 5° 회전시킨 후 회전 전 측모방사선사진 투사도와 중첩을 시행하여 회전 전 측모

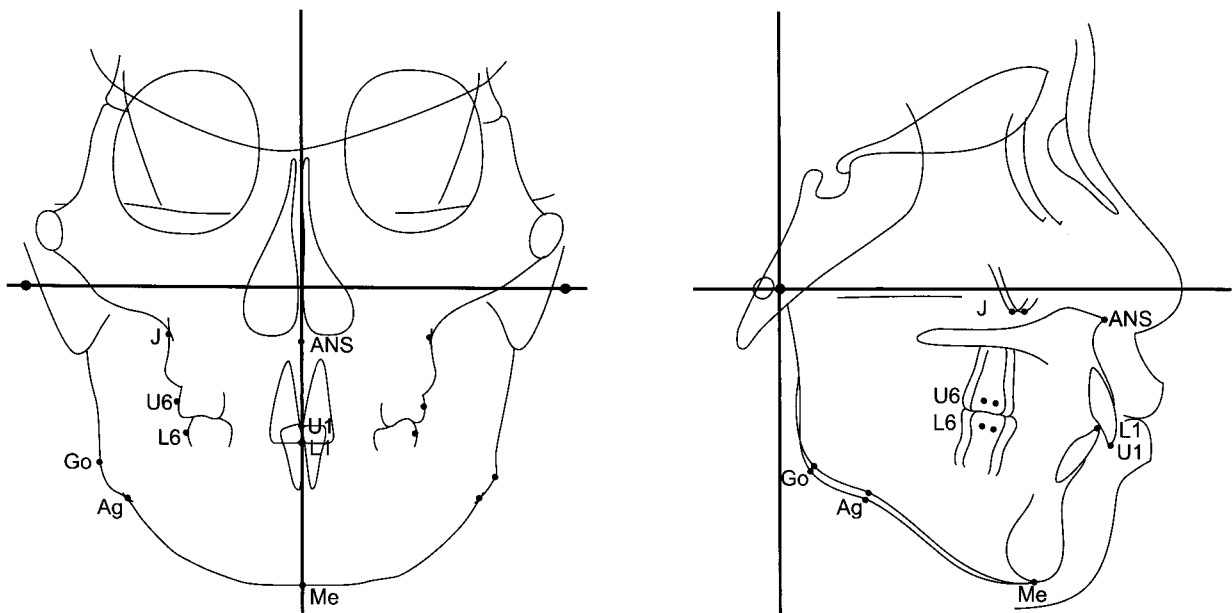


Fig 3. The horizontal reference line on frontal cephalogram was defined as a line passing through the two ear rod ball markers, and the vertical reference line as a perpendicular line passing mid-point of the length of the horizontal reference line. The horizontal reference line on lateral cephalogram was established by drawing a line parallel to the horizontal wire incorporated in the Head Posture Aligner and passing through the ear rod ball marker, and the vertical reference line as a perpendicular line passing through the ear rod ball marker.

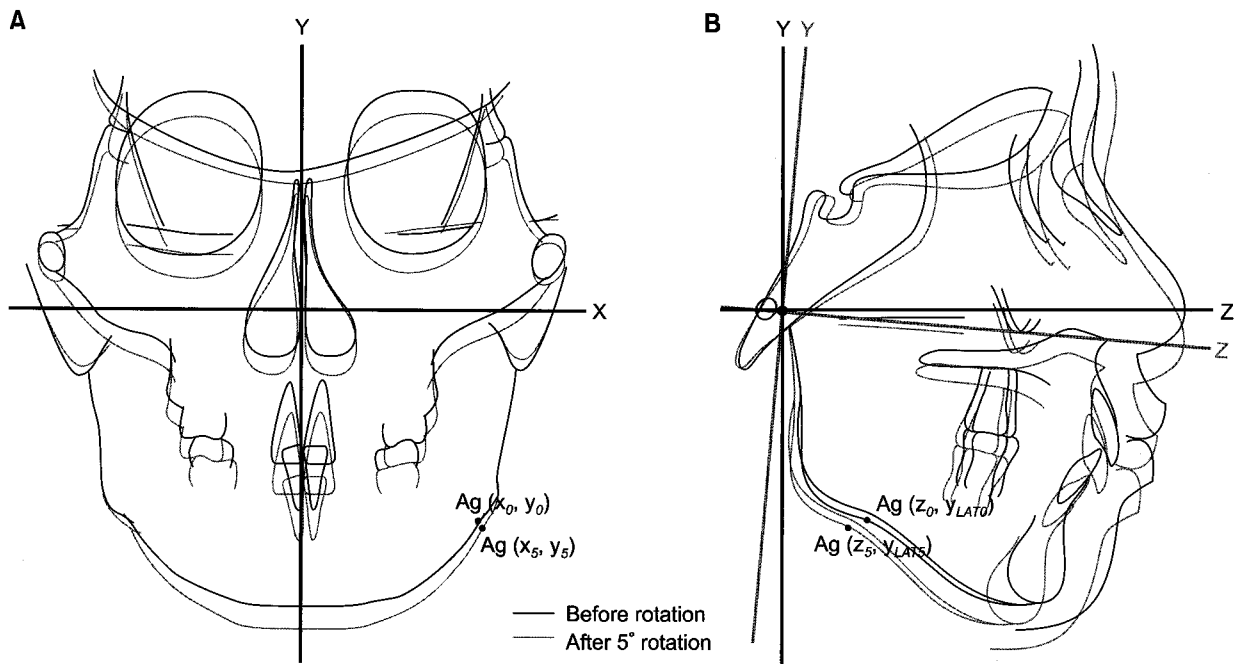


Fig 4. Simulation of positional change of a landmark before and after a 5° downward head rotation and represented using an x, y coordinate system. Antegonion is used as an example. **A**, Frontal cephalometric tracings before and after head rotation; **B**, lateral cephalometric tracings before and after head rotation.

방사선사진의 수평 및 수직 기준선을 Z, Y축으로 하여 회전 전후 각 계측점의 위치를 Fig 4B와 같이 (z_0, y_{LAT0}) , (z_5, y_{LAT5}) 로 각각 표시하였다. 측모방사선 사진상 해당 계측점의 수직변화(Δy_{LAT})를 해당 부위의 측모방사선사진에서의 확대율(m_{LAT})로 나누어 두부회전 시 계측점의 실제 수직변화를 구한 후, 이 값과 회전 후 해당부위의 정모방사선사진에서의 확대율을 이용하여 다음과 같이 정모방사선사진상 계측점의 수직변화를 산출하였다.

$$\Delta y = \frac{\Delta y_{LAT}}{m_{LAT}} \cdot m_5$$

- m_{LAT} : 해당부위의 측모방사선사진에서의 확대율
- m_5 : 두부 5° 회전 후 해당부위의 정모방사선사진에서의 확대율

두부를 하방으로 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 수직변화는 계측점의 실제 수직변화와 확대율 차이에 의해서 나타나는 반면, 수평변화는 확대율 차이에 의해서만 나타나므로 회전 전 정모방사선사진상 계측점의 수평위치(x_0) 및 확대율 차이를 이용하여 회전 후 수평변화를 다음과 같이 산출하였다.

$$\Delta x = \left(\frac{m_5}{m_0} - 1 \right) \cdot x_0$$

- m_0 : 두부 회전 전 해당부위의 정모방사선사진에서의 확대율

이때 두부회전 전 정모방사선사진 확대율은 방사선원으로부터 필름까지의 거리(본 연구에서는 1,500 + 150 mm)와 방사선원으로부터 해당 계측점까지의 거리 비율로 산출할 수 있으므로 ear rod 축에서부터 해당 계측점까지의 거리를 z_0' 이라고 하고 다음과 같이 해당 계측점 부위의 정모방사선사진 확대율을 구하였다.

$$m_0 = \frac{1650}{1500 + z_0'}$$

그리고 ear rod 축에서부터 해당 계측점까지의 거리인 z_0' 은 Fig 5와 같이 측모방사선사진 촬영 시 antegonion과 같은 양측성 구조물(bilateral structures)의 중점은 두개골의 형태가 대칭이라고 가정했을 때, 확대율이 110%인 ear rod의 중점과 동일한 평면상에 위치하며 이는 측모방사선사진상에 나타나는 양측성 계측점(bilateral landmarks)의 중점으로 투영된다고 가정하여 다음과 같이 구하였다 (Figs 5 and 6).

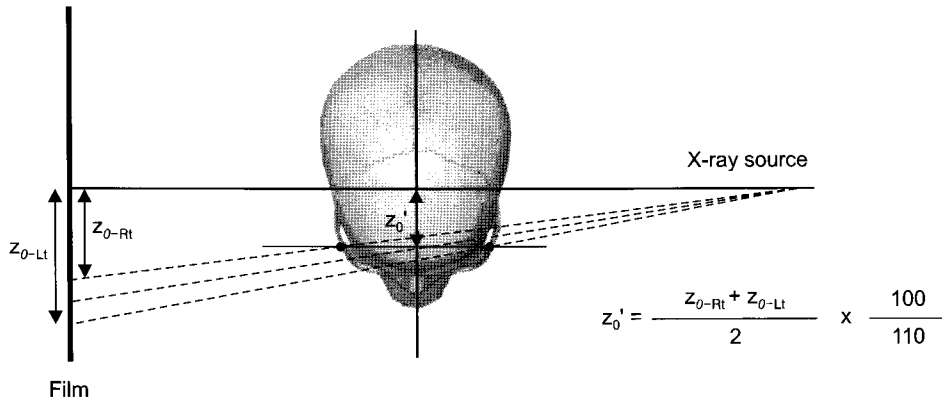


Fig 5. Method of calculating z_0' from lateral cephalogram. z_0' is the actual horizontal distance from the ear rod axis to midpoint between right and left antegonions. z_{0-Rt} is the horizontal position of right antegonion and z_{0-Lt} is the horizontal position of left antegonion on lateral cephalogram.

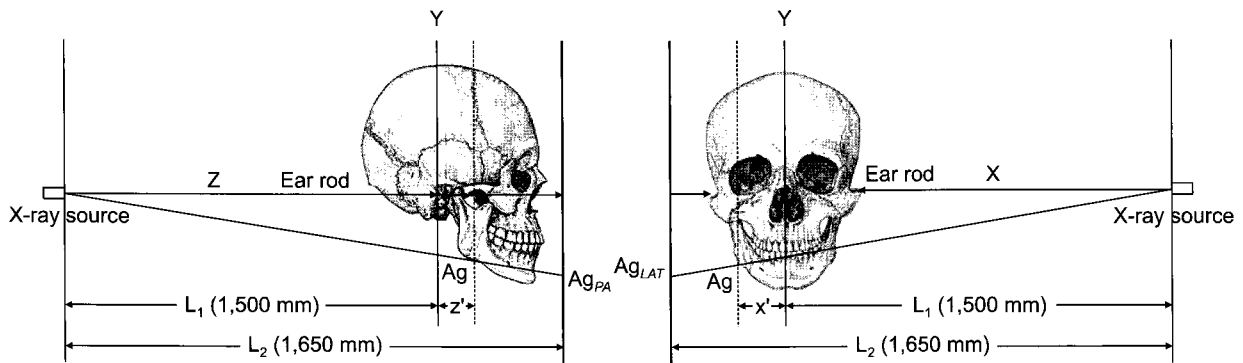


Fig 6. Schematic representation of radiographic magnification. Magnification of frontal cephalogram can be calculated using the lateral cephalogram, and magnification of lateral cephalogram can be calculated using the frontal cephalogram.

$$z_0' = \frac{z_{0-Rt} + z_{0-Lt}}{2} \times \frac{100}{110}$$

$$m_5 = \frac{1650}{1500 + z_5'}$$

한편 두부가 수직회전하더라도 측모방사선사진 확대율(m_{LAT})은 변하지 않으므로 ear rod의 중점과 동일한 평면상에 위치한 정중 계측점의 경우 확대율을 110%로 하였고, 양측성 계측점의 경우 회전 전 정모방사선사진상 계측점의 수평위치(x_0)를 확대율(m_0)로 나누어 실제거리(x_0')를 산출한 후 이 값을 이용하여 다음과 같이 그 부위에서의 확대율을 구하였다.

$$m_{LAT} = \frac{1650}{1500 + x_0'}$$

아울러 회전 후 정모방사선사진 확대율(m_5)은 회전 후 측모방사선사진에서 계측점의 수평위치(z_5)를 확대율(m_{LAT})로 나누어 실제거리(z_5')를 산출한 후 이 값을 이용하여 다음과 같이 구하였다.

이상과 같이 회전 전후 정모방사선사진 및 측모방사선사진의 확대율을 이용하여 전술한 바와 같이 회전 후 정모방사선사진상 계측점의 수직 및 수평 변화를 계측점별로 산출하였다.

두부 5° 수직회전 후 촬영된 정모방사선사진을 이용한 계측점의 실제변화 비교

계산으로 산출된 계측점의 변화와 비교하기 위한 대조치를 얻기 위해 두부를 하방으로 5° 수직회전시킨 후 촬영된 정모방사선사진상 각 계측점 위치를 회전 전 촬영된 정모방사선사진의 수평 및 수직 기준선을 X, Y축으로 하여 전술한 바와 동일한 방법으로 좌표계로 표시한 후 회전 전 촬영된 정모방사선사진상 계측점 위치와의 차이를 수직 및 수평

방향으로 구분하여 구하였다.

통계 및 분석

본 연구에서는 통계처리를 위해 SPSS version 14.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다. 두부 5° 수직회전 시 방사선의 기하학적 원리에 의해 산출된 계측점 변화와 실제 두부를 5°회전하여 구한 계측점 변화의 평균 및 표준편차를 구하는 한편 paired t-test를 시행하여 그 유의차를 검정하였다. 아울러 산출된 수치가 실제 수치에 얼마나 근접하는지 파악하기 위하여 산출된 수치와 실제 수치와의 차이를 절대값으로도 구하여 비교분석하였다. 부가적으로 Bland-Altman plot을 적용하여 x축은 계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치와의 평균을, y축은 두 수치의 차이값을 도표화하여 차이의 분포와 허용범위를 확인하였다. 한편 임의로 20개의 정모방사선사진을 선택하여 2주 간격으로 계측점을 설정하고 계측오차를 Dahlberg식을 이용하여 산출한 결과, 0.12 - 0.20 mm 범위의 비교적 작은 값을 보였다.

연구성적

두부를 5° 하방으로 수직회전 시 정모방사선사진상 각 계측점의 변화를 계산으로 산출하는 한편 실제로 두부를 5° 하방회전시키고 촬영한 정모방사선사진을 이용하여 계측점의 실제변화를 구한 결과 수직방향 변화의 경우 Table 2와 같은, 그리고 수평방향 변화의 경우 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

실제 수치를 이용하여 정모방사선사진상 각 계측점의 변화를 살펴본 결과 수평적으로는 계측점에 따라 0.03 - 0.16 mm의 작은 변화를 보인 반면 수직적으로는 1.19 - 7.48 mm 범위로 큰 변화를 나타내었다. 이를 계측점별로 살펴본 결과 ANS, UI, L1, Me과 같이 ear rod 축에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치를 비교하기 위하여 paired t-test를 시행한 결과 수직변화의 경우 본 연구에 사용된 14개 계측점 중 ANS, UI, L1, AgRt, Me을 제외한 나머지 9개 계측점에서, 수평변화의 경우 14개의 모든 계측점에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치의 차이를

Table 2. Comparison of calculated change with real cephalometric change in the vertical direction (unit: mm)

Landmark	Calculated change (A)	Cephalometric change (B)	Difference (A-B)	Absolute difference (A-B)	p value
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Δ ANS	7.12 ± 0.51	7.48 ± 0.61	-0.36 ± 0.35	0.39 ± 0.24	0.000*
Δ JRt	5.32 ± 0.45	5.28 ± 0.47	0.04 ± 0.26	0.20 ± 0.17	0.397
Δ JLt	5.27 ± 0.42	5.30 ± 0.48	-0.03 ± 0.18	0.12 ± 0.13	0.362
Δ U6Rt	4.79 ± 0.56	4.94 ± 0.65	-0.15 ± 0.41	0.30 ± 0.32	0.053
Δ U6Lt	4.72 ± 0.47	4.69 ± 0.55	0.03 ± 0.27	0.13 ± 0.29	0.557
Δ L6Rt	4.86 ± 0.62	4.92 ± 0.76	-0.06 ± 0.37	0.24 ± 0.29	0.378
Δ L6Lt	4.75 ± 0.52	4.85 ± 0.65	-0.10 ± 0.32	0.25 ± 0.22	0.094
Δ U1	7.25 ± 0.61	7.45 ± 0.67	-0.20 ± 0.35	0.31 ± 0.25	0.005*
Δ L1	6.98 ± 0.60	7.23 ± 0.80	-0.25 ± 0.48	0.35 ± 0.40	0.009*
Δ GoRt	0.94 ± 0.46	1.02 ± 0.56	-0.09 ± 0.27	0.19 ± 0.20	0.094
Δ GoLt	1.00 ± 0.61	1.07 ± 0.74	-0.08 ± 0.31	0.18 ± 0.26	0.196
Δ AgRt	2.08 ± 0.59	2.14 ± 0.67	-0.06 ± 0.15	0.12 ± 0.11	0.030*
Δ AgLt	2.17 ± 0.49	2.13 ± 0.56	0.04 ± 0.27	0.17 ± 0.21	0.405
Δ Me	5.86 ± 0.81	6.21 ± 0.97	-0.35 ± 0.38	0.39 ± 0.32	0.000*

SD, Standard deviation. *p < 0.05.

Table 3. Comparison of calculated change with real cephalometric change in the horizontal direction (unit: mm)

Landmark	Calculated change (A)	Cephalometric change (B)	Difference (A-B)	Absolute difference (A-B)	p value
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Δ ANS	0.01 ± 0.06	0.04 ± 0.23	-0.03 ± 0.23	0.14 ± 0.18	0.472
Δ J _{Rt}	0.06 ± 0.06	0.08 ± 0.21	-0.01 ± 0.21	0.13 ± 0.16	0.738
Δ J _{Lt}	0.03 ± 0.14	0.12 ± 0.22	-0.09 ± 0.23	0.14 ± 0.20	0.054
Δ U _{6Rt}	0.08 ± 0.06	0.15 ± 0.21	-0.07 ± 0.23	0.16 ± 0.18	0.106
Δ U _{6Lt}	0.07 ± 0.11	0.10 ± 0.13	-0.03 ± 0.13	0.12 ± 0.10	0.298
Δ L _{6Rt}	0.09 ± 0.07	0.06 ± 0.16	0.03 ± 0.16	0.12 ± 0.11	0.388
Δ L _{6Lt}	0.08 ± 0.10	0.10 ± 0.18	-0.01 ± 0.19	0.14 ± 0.12	0.741
Δ U ₁	0.00 ± 0.00	0.03 ± 0.16	-0.03 ± 0.16	0.11 ± 0.12	0.289
Δ L ₁	0.01 ± 0.04	0.03 ± 0.18	-0.02 ± 0.18	0.13 ± 0.13	0.532
Δ G _{ORt}	0.19 ± 0.15	0.10 ± 0.09	0.09 ± 0.14	0.19 ± 0.10	0.051
Δ G _{OLt}	0.20 ± 0.20	0.16 ± 0.20	0.04 ± 0.26	0.20 ± 0.16	0.364
Δ A _{GRt}	0.20 ± 0.12	0.16 ± 0.32	0.04 ± 0.27	0.20 ± 0.18	0.456
Δ A _{GLt}	0.19 ± 0.09	0.13 ± 0.23	0.06 ± 0.23	0.20 ± 0.12	0.161
Δ Me	0.01 ± 0.05	0.03 ± 0.28	-0.02 ± 0.28	0.17 ± 0.23	0.408

SD, Standard deviation.

절대값으로 살펴본 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 차이를 보였다. 이러한 차이를 계측점별로 살펴본 결과 측면에서 보았을 때 ear rod 축에서 비교적 가까운 계측점인 Go, Ag의 경우 0.1 - 0.2 mm의 차이를, 그리고 ear rod 축에서 멀리 떨어진 ANS, U1, L1, Me의 경우 0.3 - 0.4 mm의 차이를 보여 두부의 수직회전에 영향을 크게 받는 계측점일수록 그 차이가 큰 경향을 보였다 (Tables 2 and 3).

아울러 각 계측점마다 Bland-Altman plot을 분석한 결과 두 측정값의 차이와 평균 사이에 어떠한 상관관계도 보이지 않았으며 대부분의 95% 신뢰구간 안에 분포하였다. 실제 수치와 통계적으로 유의한 차이를 보인 계측점 ANS, U1, L1, A_{GRt}, Me의 경우에도 측정값들이 Bland-Altman plot의 허용범위 내에 있는 것으로 나타났다 (Fig 7).

고찰

두부방사선규격사진은 치과교정학 분야, 즉 두개안면부의 성장과 발육의 이해, 두개안면부와 치열과의 관계에 대한 분석, 교정치료의 진단과 치료계

획 수립 및 치료결과의 평가에 유용하게 사용되고 있다. 특히, 시간간격을 두고 연속적으로 촬영된 방사선사진의 중첩을 통하여 치료경과의 평가와 치료전후 비교에 매우 유용하게 사용되고 있다.

두부방사선규격사진 촬영 시 피사체의 두부위치를 고정하기 위하여 두부고정기를 사용하고 있으나 두부고정기의 ear rod는 좌우 외이도에 위치되므로 두부의 측방회전은 나타나지 않는 반면 수직회전은 일정하게 고정할 수 없어 촬영 시마다 두부위치가 변하게 된다. 측모방사선사진 촬영 시에는 방사선원의 중앙조사선(central ray)과 두부의 회전축, 즉 좌우 ear rod를 연결한 축이 일치하므로 두부가 상하로 회전되더라도 전체적인 상의 위치만 주로 변화될 뿐 계측점들간의 관계는 크게 변하지 않기 때문에 두부가 회전하여도 상의 크기나 형태가 달라지지 않지만,^{19,20} 정모방사선사진에서는 두부가 상하로 회전한다면 각각의 계측점들은 수직방향의 변화와 계측점과 필름간 거리 변화에 따라 수평방향으로의 확대 또는 축소가 일어난다. 따라서 시간간격을 두고 연속 촬영된 정모방사선사진의 중첩 시 문제를 초래할 뿐만 아니라 안면비대칭 정도와 양상의 파악, 안면골격의 형태나 크기의 판단에도 문

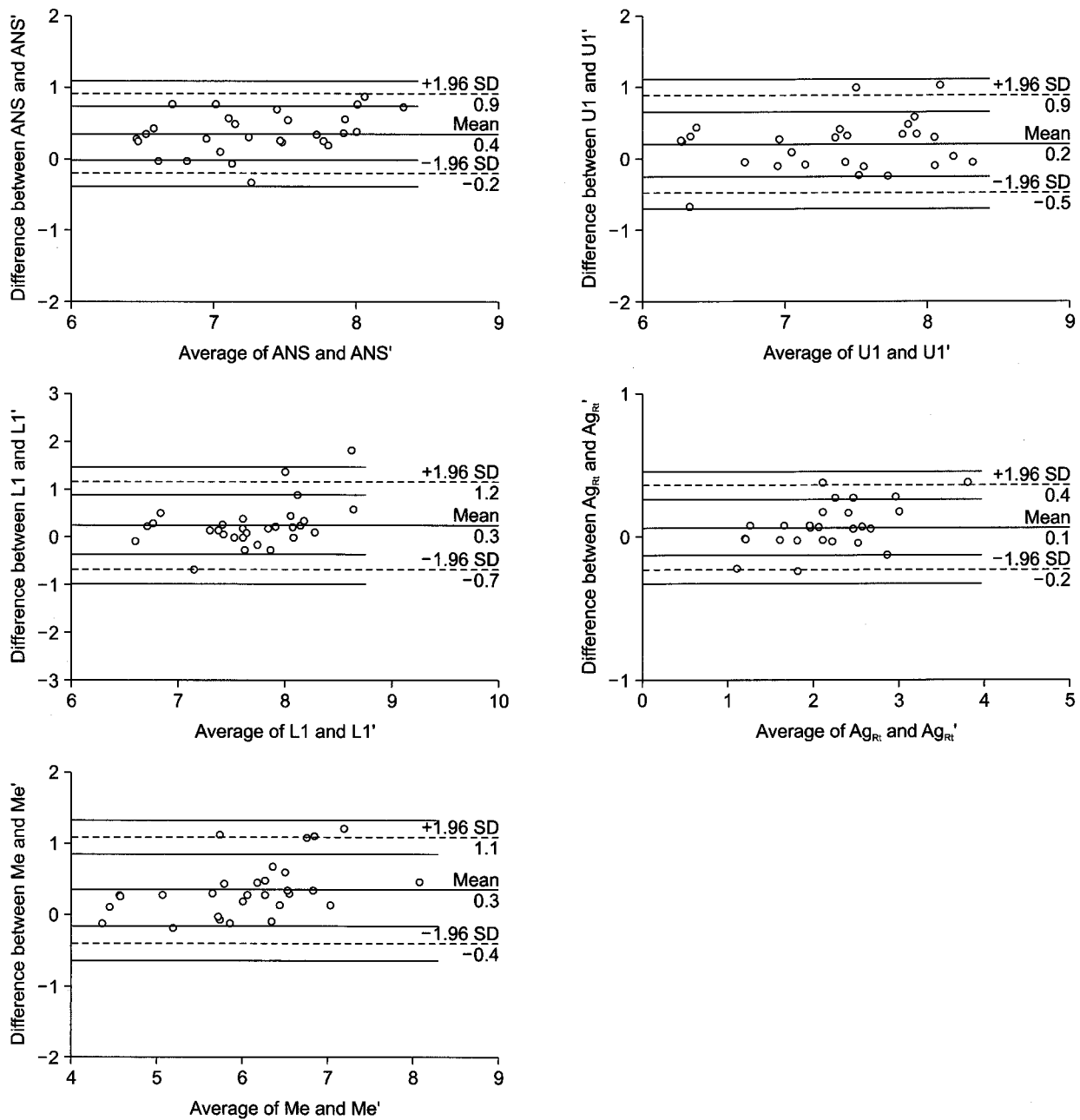


Fig 7. Bland-Altman plots for variables ANS, U1, L1, Ag_{Rt}, and Me in the vertical direction. The x-axis shows the average of the calculated and cephalometric changes, whereas the y-axis represents the difference between the two measurements. The limits of agreement are indicated by horizontal lines.

제를 초래한다. Koh 등²은 최근의 연구에서 두부의 수직회전에 의해 정모방사선사진상에 투사오차가 발생함을 보였으며 따라서 유용한 정모방사선사진을 얻기 위해서는 촬영 시마다 동일한 두부자세를 유지하기 위한 노력이 필요하다고 하였다.

두부방사선사진 촬영 시 동일한 두부자세를 유지

하기 위해 자연두부자세의 개념이 1950년대 교정학에 도입되어 두개안면부의 형태, 성장양상 등과 관련지어 연구되어 왔으며, Cooke과 Wei,¹⁰ Cooke,¹¹ Peng과 Cooke¹²은 시간 경과에 관계없이 자연두부자세의 재현성이 높음을 보고한 바 있다. 최근 Kim과 Hwang⁴은 자연두부자세를 유도하기 위해 두부

자세재현기를 사용할 경우 두부의 측방회전은 ear rod에 의해 고정되고 두부의 수직회전은 자연두부 자세에 의해 일정하게 재현될 수 있음을 보고하였다.

그러나 일반 환자에서는 두부자세를 일정하게 재현할 수 있는 반면 악교정수술을 시행한 경우 수술 후 자연두부자세가 변화한다는 보고가 있으며,^{13,14} Wenzel 등¹³은 하악골의 형태나 기능에 의해 자연두부자세가 결정된다고 하였고, Tecco 등,¹⁵ McGuinness와 McDonald¹⁶은 정중구개 급속확장술 시행 후 airway resistance의 변화에 의해 두부자세가 변화한다고 하였다. 아울러 환자의 자연두부자세가 변화하지 않을지라도 두부자세재현기를 사용하여 방사선사진 촬영 시 술자나 환자의 부주의로 인해 이전과는 다른 두부자세로 방사선사진이 촬영되는 경우도 있을 수 있다. 이와 같이 이전과는 다른 두부자세로 정모방사선사진이 촬영되는 경우 방사선사진의 중첩 및 분석에 어려움이 있으므로 이를 위해서 이전의 두부자세로 정모방사선사진의 계측점 위치를 보정하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 4개의 정중 계측점과 5쌍의 양측성 계측점을 선정한 후 두부의 5° 수직회전 시 계측점의 변화를 수직 및 수평으로 구분하여 살펴보는 한편 이러한 변화를 계산을 통해 산출한 후 이 산출방법이 타당한지 알아보고자 하였다.

Ahlqvist 등²¹은 임상에서 술자가 주의를 기울여 환자의 두부를 위치시키는 경우 5° 이상의 두부회전은 나타나지 않는다고 하였으며, Kim과 Hwang⁴은 통상적으로 술자가 두부자세를 유도하여 정모와 측모사진을 촬영한 결과 두부의 수직회전 정도가 2.49°로 나타났다고 보고하였다. 이를 바탕으로 하여 본 연구는 실제 임상에서 발생 가능한 정도의 두부의 수직회전 시 계측점의 변화를 알아보기 위하여 두부의 수직회전 각도를 5°로 설정하여 연구를 시행하였다.

한편 방사선의 기하학적 원리를 이용하면 피사체의 특정 부위 확대율을 산출할 수 있고 이를 이용하여 실제거리를 계산할 수 있으므로 두부의 수직회전이 다른 상태로 방사선사진이 촬영되는 경우 biplanar radiography 원리를 이용하여 정모방사선사진의 계측점을 계산에 의해 다른 수직회전 상태의 계측점 위치로 보정하는 것이 가능하며, 이는 정모 및 측모방사선사진이 완벽하게 90°가 되어야 하는 것을 전제로 하고 있다. Kim과 Hwang⁴은 물방울 수평계의 원리를 이용한 두부자세재현기를 많은 연구와

임상에서 적용하고 있는 바 본 연구에서는 이를 이용하여 카세트와 방사선원이 한 개만 있는 방사선 촬영장치에서 동일한 두부자세의 정모 및 측모사진을 서로 직각이 되도록 촬영하였다.

그러나 임상에서 biplanar method를 이용하기 위해서는 어느 하나의 계측점이 각각의 사진에 동일하게 설정되어야 하는데, 얼굴에 금속구와 같은 구조물이 있다면 가능한 반면 신체구조는 같은 구조물이라도 보는 각도에 따라 달리 보이므로 하나의 계측점을 동일하게 설정하는 것은 불가능하고 다소의 오차가 불가피하게 발생할 수 밖에 없다. Brown과 Abbott¹⁸은 “90° 각도로 두 필름이 위치할 경우 한 쪽 필름에 위치한 계측점은 다른 필름에 비치는 방사선 주사선상에 놓이게 된다”는 방사선의 기하학적 성질을 이용하여 어느 한 점을 기준으로 다른 사진상의 계측점을 의도적으로 수정하는 방법을 소개하였다. 즉 필름면을 중심으로 정모와 측모방사선사진을 나란히 위치시킨 다음 정모와 측모방사선사진의 계측점을 지나는 방사선 주사선이 필름에서 서로 만나지 않을 경우 이들이 서로 만나도록 정모와 측모방사선사진 중 잘 보이는 계측점을 기준으로 다른 계측점을 수정하는 방법을 소개하였다. 한편 Kusnoto 등¹⁷은 이러한 algorithm을 사용하여 계측점을 보정할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발한 바 있어 본 연구에서는 이를 이용하여 정모와 측모방사선사진상 계측점의 위치를 수정하였다. 사용된 모든 계측점은 정모방사선사진 계측점이므로 이를 기준으로 측모방사선사진의 계측점을 수정하였다.

Hsiao 등²²은 건조두개골의 계측점에 금속구를 부착한 후 90° 각도로 촬영된 정모 및 측모방사선사진을 이용하여 정모방사선사진의 폭경계측치 확대를 보정한 후 이를 건조두개골의 실제 폭경계측치와 비교하여 biplanar method를 이용한 확대율 보정의 정확성에 대해 보고한 바 있다. 그러나 확대율 산출 시 정모방사선사진에서는 각 계측점마다 확대율을 계산한 반면 측모사진에서는 모든 계측점의 확대율을 110%로 간주하여 계산하였다. 정중 계측점의 경우 측모방사선사진의 확대율을 110%로 간주하여도 피사체가 심한 비대칭을 나타내지 않는 이상 그 수치가 비교적 정확할 수 있으나 양측성 계측점의 경우 우측은 확대율이 110%보다 작고 좌측은 110%보다 크므로 보다 더 정확한 보정을 위하여 정모뿐만 아니라 측모방사선사진도 확대율을 각 계측점마다 계산해야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 계측점마다 정모 및 측모방사선사진의 확대율을 계산하

였으며 이를 위하여 측모방사선사진 촬영 시 *antegonion*과 같은 양측성 구조물(*bilateral structure*)의 중점이 확대율이 110%인 *ear rod*의 중점과 동일한 평면상에 위치하며 이는 두개골이 대칭이라는 전제 하에 측모방사선사진상에 나타나는 양측성 계측점 (*bilateral landmark*)의 중점으로 투영된다고 가정하였다. 그러나 실제 양측성 구조물의 중점은 측모방사선사진상 양측성 계측점의 중점보다 *ear rod*측에 가깝게 투사되므로, 방사선원으로부터 구조물까지의 거리가 실제보다 크게 계산되지만 본 연구결과 확대율 계산에 대한 이의 영향은 미미한 것으로 보이며, 측모방사선사진의 확대율을 일률적으로 110%로 계산한 기존의 연구에 비해 더욱 정확한 보정이 이루어졌으리라 믿는다.

실제로 두부를 5° 하방으로 수직회전시킨 후 촬영된 정모방사선사진을 이용하여 계측점의 실제 변화를 살펴본 결과 수평적으로는 0.03 - 0.16 mm의 차이를 나타낸 반면, 수직적으로는 1.19 - 7.48 mm의 차이를 나타내어 전반적으로 수평변화에 비해 수직변화가 크게 나타나는 경향을 보였다. 이를 계측점별로 살펴본 결과 수직변화의 경우 ANS, U1, L1, Me과 같이 *ear rod* 측에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다. 두부의 수직회전 시 정모방사선사진상 계측점의 수직변화는 계측점의 실제 수직변화와 확대율 차이에 의해 나타나는데 *ear rod*에서 전방으로 멀리 떨어질수록 피사체의 실제 수직변화가 크게 나타나고 하방으로 멀리 떨어질수록 확대율의 변화가 크게 나타난다. 본 연구결과 수직변화의 경우 ANS, U1, L1, Me과 같이 *ear rod* 측에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 그 변화가 큰 것으로 나타났는데 이는 확대율의 차이보다 실제 수직변화가 정모방사선사진상 수직변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 이해되었다. 반면 수평변화의 경우 확대율에 의해서만 영향을 받으므로 *ear rod* 측에서 하방으로 멀리 떨어진 계측점일수록 변화가 크게 나타날 것으로 예상되나 계측점에 따른 변화가 일정한 양상을 보이지 않았으며, 이는 수평변화의 경우 그 차이가 0.2 mm 미만으로 미미하여 확대율에 의한 영향보다 계측점의 식별오차에 의한 영향이 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치간의 paired *t-test*를 시행한 결과 수직변화의 경우 본 연구에서 사용된 14개 계측점 중 ANS, U1, L1, Ag_R, Me를 제외한 나머지 9개 계측점에서, 수평변화의 경우 14개

의 모든 계측점에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 수직변화의 경우 ANS, U1, L1, Me에서 통계적으로 유의한 차이가 나타난 이유는 이 계측점들이 *ear rod* 측에서 전방으로 멀리 위치하여 두부의 수직회전 시 수직변화량이 다른 계측점에 비해 크게 나타나 이에 비례하여 산출된 수치와 실제 수치 간의 차이가 증가한 것으로 이해되어졌다. Ag_R의 경우 통계적 차이를 나타낸 이유를 두 가지로 나누어 생각할 수 있는데 첫 번째는 계측점 수정시의 오차이며 두 번째는 계측점의 식별오차이다. 본 연구에서는 정모와 측모방사선사진에서 동일한 계측점을 설정하기 위하여 *Aligner™* 프로그램을 이용하였다. 이는 가운데에 가상의 필름이 있고 그 좌측에 측모방사선사진을, 우측에는 정모방사선사진을 나란히 위치시킨 후 각 계측점을 지나는 방사선 주사선이 서로 만나도록 계측점의 위치를 수정하도록 되어있는데, 계측점 수정 시 측모방사선사진의 Ag, Go는 좌우 계측점에서 필름까지의 거리가 비슷하므로 이를 지나는 방사선 주사선이 필름의 비슷한 위치로 투사되는 반면, 정모방사선사진의 Ag, Go는 좌측에 비해 우측의 계측점이 필름면에 가깝게 위치하므로 이를 지나는 방사선 주사선이 좌측에 비해 우측의 경우 필름의 상방으로 투사된다. 즉, 계측점 수정 시 우측에 위치한 계측점의 경우 정모와 측모방사선사진간에 수직적으로 큰 오차를 보였으며 이로 인해 Ag_R의 경우 계산에 의해 산출된 변화와 실제 변화 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타난 것으로 보이며 Go 또한 좌측보다 우측에서 통계적 유의성이 높게 나타난 것으로 생각된다. 또한 Ag은 어느 한 점으로 정해진 계측점이 아니라 두 구조물의 경계선상에 존재하는 계측점이므로 바라보는 방향에 따라 그 위치가 가변적일 수 있으며 마찬가지로 두부의 수직회전에 따라 위치가 변할 수 있으므로 회전 전 및 후의 계측점 설정 시 오차가 발생했으리라 생각된다.

계산을 통해 산출된 수치와 실제 수치의 차이를 절대값으로 살펴본 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 차이를 보였다. 이러한 차이를 계측점별로 살펴본 결과 수직방향의 경우 *ear rod* 측에서 비교적 가까운 계측점인 Go, Ag은 0.1 - 0.2 mm의 차이를, 그리고 *ear rod* 측에서 멀리 떨어진 ANS, U1, L1, Me은 0.3 - 0.4 mm의 차이를 보여 두부의 수직회전에 영향을 크게 받는 계측점일수록 그 차이가 큰 경향을 보임을 알 수 있었으며, 수평방향의 경우 계측점에 따른

일정한 양상을 보이지 않음을 알 수 있었다.

Major 등²³은 정모방사선사진에서 계측점의 식별 오차에 관한 연구에서 1.5 mm 이상의 오차를 나타내는 계측점은 가능한 사용하지 말아야 하며 2.5 mm 이상의 오차를 나타내는 경우 계측점으로 부적절하다고 보고하였다. 본 연구에서 biplanar radiography 원리를 이용하여 계측점의 변화를 산출한 후 실제변화와 비교한 결과 수직변화는 0.4 mm 미만의 차이를 수평변화는 0.2 mm 미만의 차이를 나타내었으므로, 임상에서 정모방사선사진 촬영 시 이전과 다른 두부 자세로 촬영되는 경우 본 연구결과에 사용된 방법을 이용한다면 회전전의 계측점 위치로 보정이 가능하므로 시간차를 두고 촬영한 정모방사선사진의 임상에서의 중첩 및 이를 이용한 연구에 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

결론

동일한 두부자세에서 정모 및 측모방사선사진을 서로 직각이 되게끔 촬영한 다음 두부를 5° 하방으로 수직회전 시 정모방사선사진상 여러 계측점의 변화를 방사선의 기하학적 원리를 이용하여 수직 및 수평방향으로 구분하여 산출한 후, 이를 실제로 두부를 5° 회전시킨 상태에서 촬영한 정모방사선사진에서의 계측점 변화와 비교분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실제로 두부를 5° 회전시킨 상태에서 촬영한 정모방사선사진에서의 계측점 변화를 수평방향과 수직방향으로 구분하여 살펴본 결과 수평적으로는 작은 변화를 보인 반면 수직적으로는 전반적으로 큰 변화를 나타내었다.
2. 두부 회전 시 수직변화를 계측점별로 살펴본 결과 ear rod측에서 전방으로 멀리 떨어진 계측점일 수록 그 변화가 큰 것으로 나타났다.
3. 두부의 5° 수직회전 시 계측점의 변화를 계산을 통해 산출한 후, 산출된 수치와 실제 수치를 비교한 결과 수직방향의 경우 0.4 mm 미만, 수평방향의 경우 0.2 mm 미만의 작은 수치를 나타내었다.
4. 계산을 통해 얻은 수치와 실제 수치의 차이를 계측점별로 살펴본 결과 두부의 수직회전에 영향을 적게 받는 계측점일수록 그 차이가 작은 경향을 보였다.

이상의 결과는 정모 및 측모두부방사선사진을 서로 직각이 되게끔 촬영할 경우, 두부의 수직회전으로 인한 정모두부방사선사진상의 계측점 변화를 회전 전 위치로 산출 보정하는 것이 가능함을 보여주었다.

참고문헌

1. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1931;1:45-66.
2. Koh EH, Lee KH, Hwang HS. Effects of vertical head rotation on the posteroanterior cephalometric measurements. *Korean J Orthod* 2003;33:73-84.
3. Proffit WR. The search for truth: diagnosis. In: Proffit WR, White RP editors. *Surgical orthodontic treatment*. St. Louis: Mosby-Year Book; 1991. p. 96-141.
4. Kim EH, Hwang HS. The validity of Head Posture Aligner in posteroanterior cephalometry. *Korean J Orthod* 2000;30:543-52.
5. Cooke MS, Wei SH. An improved method for the assessment of the sagittal skeletal pattern and its correlation to previous methods. *Eur J Orthod* 1988;10:122-7.
6. Solow B, Tallgren A. Natural head position in standing subjects. *Acta Odontol Scand* 1971;29:591-607.
7. Solow B, Tallgren A. Head posture and craniofacial morphology. *Am J Phys Anthropol* 1976;44:417-35.
8. Solow B, Tallgren A. Dentoalveolar morphology in relation to craniocervical posture. *Angle Orthod* 1977;47:157-64.
9. Solow B, Siersbaek-Nielsen S. Growth changes in head posture related to craniofacial development. *Am J Orthod* 1986;89:132-40.
10. Cooke MS, Wei SH. The reproducibility of natural head posture: a methodological study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:280-8.
11. Cooke MS. Five-year reproducibility of natural head posture: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:489-94.
12. Peng L, Cooke MS. Fifteen-year reproducibility of natural head posture: A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:82-5.
13. Wenzel A, Williams S, Ritzau M. Relationships of changes in craniofacial morphology, head posture, and nasopharyngeal airway size following mandibular osteotomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:138-43.
14. Achilleos S, Krogstad O, Lyberg T. Surgical mandibular setback and changes in uvuloglossopharyngeal morphology and head posture: a short- and long-term cephalometric study in males. *Eur J Orthod* 2000;22:383-94.
15. Tecco S, Festa F, Tete S, Longhi V, D'Attilio M. Changes in head posture after rapid maxillary expansion in mouth-breathing girls: a controlled study. *Angle Orthod* 2005;75:171-6.
16. McGuinness NJ, McDonald JP. Changes in natural head position observed immediately and one year after rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 2006;28:126-34.
17. Kusnoto B, Evans CA, BeGole EA, de Rijk W. Assessment of 3-dimensional computer-generated cephalometric measure-

- ments. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:390-9.
18. Brown T, Abbott AH. Computer-assisted location of reference points in three dimensions for radiographic cephalometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;95:490-8.
 19. Eliasson S, Welander U, Ahlqvist J. The cephalographic projection. Part I: General considerations. *Dentomaxillofac Radiol* 1982;11:117-22.
 20. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The cephalometric projection. Part II. Principles of image distortion in cephalography. *Dentomaxillofac Radiol* 1983;12:101-8.
 21. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on cephalometric length measurements. *Eur J Orthod* 1986;8:141-8.
 22. Hsiao TH, Chang HP, Liu KM. A method of magnification correction for posteroanterior radiographic cephalometry. *Angle Orthod* 1997;67:137-42.
 23. Major PW, Johnson DE, Hesse KL, Glover KE. Landmark identification error in posterior anterior cephalometrics. *Angle Orthod* 1994;64:447-54.

Correction of positional change of frontal cephalometric landmarks caused by vertical head rotation

Mi-Young Kim, DDS, MSD,^a Kyung-Min Lee, DDS, MSD,^a Jin-Hyoung Cho, DDS, MSD, PhD,^b
Hyeon-Shik Hwang, DDS, MSD, PhD^c

Objective: Superimposition of frontal cephalograms cannot be performed when the cephalograms are taken with different vertical head rotations. The purpose of the present study was to evaluate the validity of correcting the positional change of frontal cephalometric landmarks caused by vertical head rotation. **Methods:** In 30 adult individuals, frontal and lateral cephalograms were taken at a 90° angle. Geometric principles of radiography were used to calculate the possible vertical and horizontal landmark changes if the head should be rotated down 5° about an ear rod axis. The calculated changes were then compared with cephalometric changes measured on frontal cephalogram actually taken with the head rotated down 5°. **Results:** When the frontal cephalograms were taken with the head rotated down 5° about an ear rod axis, significant changes in the vertical position of the landmarks occurred, particularly in the landmarks located farther anteriorly from the ear rod axis. The comparison of calculated changes and real cephalometric changes showed that the differences were less than 0.4 mm in the vertical direction and less than 0.2 mm in the horizontal direction. The differences between calculated and real changes were smaller in the landmarks less affected by vertical head rotation. **Conclusions:** Even when frontal cephalograms are taken at different vertical head rotations, the concomitant changes in the position of the landmarks can be corrected through calculation using the geometric principle of radiography as long as frontal and lateral cephalograms are taken perpendicular to each other. (*Korean J Orthod* 2011;41(2):98-111)

Key words: Frontal cephalogram, Vertical head rotation, Correction

^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 December 22, 2010; Last Revision February 28, 2011; Accepted March 4, 2011.