

3차원 악안면 기형 분석을 위한
시축 관련 수평기준평면의 평가

연세대학교 대학원

치 의 학 과

강 연 회

3차원 악안면 기형 분석을 위한
시축 관련 수평기준평면의 평가

지도 이상휘 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2010년 7월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

강 연 회

강연회의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2010년 7월 일

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 저를 따뜻한 배려와 깊은 관심으로 이끌어주신 이상휘 지도 교수님께 진심으로 감사 드리며 많은 관심과 조언으로 심사를 맡아주신 이충국 선생님, 유형석 선생님께도 감사 드립니다. 또한 구강악안면외과학을 전공하면서 이제까지 항상 격려해 주시고 사랑으로 가르침을 주신 박형식 교수님, 차인호 교수님, 강정완 교수님, 정영수 교수님, 김형준 교수님, 남웅 교수님, 민연숙 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 또 논문 연구를 위해 많은 도움과 격려를 보내준 구강악안면외과 동기들과 선, 후배들에게 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

지금의 제가 있기까지 헌신적인 희생과 사랑으로 변함없는 믿음을 주셨던 부모님, 시부모님, 오빠와 시누이에게 감사의 마음을 전하며, 마지막으로 지금까지 곁에서 묵묵히 헌신적으로 도와준 남편과 곧 태어날 저의 아기와 함께 이 작고 소중한 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

감사합니다.

2010년 6월

저자 씬

차 례

그림 차례	iii
표 차례	iv
국문 요약	v
I. 서론	1
II. 연구 대상 및 연구 방법	6
1. 연구 대상	6
2. 연구 방법	7
1. CT촬영과 3차원 영상 구성	7
2. 기준점 및 평면의 설정	8
가. 기준점 설정	8
나. 기준 평면의 설정	12
다. 안와축 평면의 설정	13
라. 안구관련기준선의 설정	14
3. 기준 평면과 안구관련 평면사이의 각도측정	15
4. 정중기준평면과 안구관련기준선 사이의 각도계측	16
5. 기준점의 반복 재현성(reproducibility)검증을 통한 방법오차	16
III. 연구결과	17
1. 정중기준평면과 안구관련평면간의 각도	17
2. 정중기준평면과 안구관련 기준선 간의 각도	18

3. 기준평면 C3, FH, PM, CF1, 교합평면과 안구 관련 평면 간의 각도	19
4. 기준점의 반복 재현성	22
IV. 고찰	23
V. 결론	28
참고문헌	30
영문요약	33

그림 차례

Fig. 1-1 Frontal view of the bony orbit	4
Fig. 1-2 Horizontal section of the eyeball.....	4
Fig. 1-3 Diagrammatic horizontal section through orbit	5
Fig. 2 Reconstruction of the 3D images in the software	8
Fig. 3 Reconstruction of the reference planes, OAP, VAP & OpAP in 3D image	15

표 차례

Table 1. Summary of Groups.....	6
Table 2. The definition of reference points that were used in this study.....	9
Table 3. The definitions of reference points that were constructed in this study	11
Table 4. Construction of the reference planes	12
Table 5. Construction of the visual axis related horizontal planes that were hypothesized & evaluated in this study.....	13
Table 6. Construction of the visual axis related lines	14
Table 7. The measurement of angles formed by midsagittal & visual axis related horizontal planes.....	17
Table 8. The measurement of angles formed by MS & visual axis related lines	18
Table 9. The measured angles between the reference planes(C3, FH, PM) & visual axis related horizontal planes	20
Table 10. The measurement of angles formed by reference planes(CF1, Occlusal plane) & visual axis related horizontal planes.....	21
Table 11. The pointing error of the reference points	22

3차원 악안면 기형 분석을 위한 시축 관련 수평 기준평면의 평가

얼굴 기형 환자의 진단 및 치료 계획 수립을 위해서는 2차원 분석법에서 사용되는 기준선이나 기준평면이 3차원 CT에서는 뚜렷이 마련되지 못하고 있다. 사람의 얼굴 발달은 직립 보행을 하기 때문에 다른 포유동물들과는 차별되는 시축을 갖게 되고 그에 따라 성장 발육을 하게 된다. 따라서 악안면 기형 환자의 3차원 진단 평가를 위한 기준 수평면의 설정은 시축을 이용한 수평면이 합당할 것이다. 또 하악골의 전돌 또는 후퇴증과 같은 기형은 머리 자세 변화와 관계 있다고 한다. 따라서 이들을 기준 평면으로 이용하였을 때 어떤 차이가 있는지 평가가 필요하다.

이에 본 연구에서는 안구를 이용한 평면을 3차원 CT에서 설정하도록 하고, Delaire 분석의 기준 평면이나 FH 평면, 정중평면과 비교하고, 하악골 전돌증, 후퇴증, 정상인 그룹을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 정중 기준 평면과 안구 관련 평면인 OAP(orbital axis plane), VAP(visual axis plane), OpAP(optical axis plane)는 정상인과 하악골 기형 환자 모두에서 약 90도의 각도를 보였다.
2. 정중 기준 평면과 안구축(orbital axis)의 각도는 평균 25.3도를 보였으며 이론적 정상치인 22.5도에 근접하였다. 그러나 VA와 OpA는 14.3도에서 23.1도로 다양하였다.

3. PM plane (posterior maxillary plane)은 안구 관련 평면인 OAP, VAP, OpAP와 정확하게 90도의 각도를 이루며 만났고 하악골 기형 종류에 따라서도 통계적으로 유의한 차이가 없었다.
4. FH 평면, 교합평면이나 Delaire 분석의 C3 plane과 CF1 plane은 안구 관련 평면 OAP, VAP, OpAP와 비교적 일정한 각도를 이루었고, 대체적으로 VAP, OpAP와의 각도가 OAP보다 더 큰 편차를 보였다.

따라서 본 연구에서 설정된 안구축 평면 등은 일반적인 수평 평면인 FH 평면이나 C3 평면과 일정한 관계를 갖고, 정중 평면이나 PM plane과는 90도를 형성하는 것으로 보아 시축을 표현하고 natural head position(NHP)을 표현할 수 있는 적절한 평면이라 평가할 수 있겠다. 또 하악골의 전돌, 후퇴와는 무관하게 안구 관련 평면이 설정되는 것으로 보아 기형이 있어도 시축은 일정하다는 것도 알 수 있었다. 따라서 이들 중 편차가 크고 반복 재현성이 떨어지는 VAP나 OpAP보다 OAP를 이용한다면 악안면 기형의 3차원 분석에서 NHP에 가까운 수평 기준평면을 설정하여 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

핵심 되는 말 : 3차원 CT, 정중 기준 평면, FH plane, C3 plane, 교합 평면, CF1 plane, 시축, 안구축

3차원 악안면 기형 분석을 위한 시축 관련 수평기준평면의 평가

< 지도 교수 이상휘 >

연세대학교대학원 치의학과

강 연 회

I. 서론

악안면 기형은 이 부위 구조의 성장, 발육이 부조화되어 발생한다. 그리고 치료를 위해서는 정확한 진단이 필수적이다. 악안면 기형을 진단하기 위해서는 이제까지 주로 2차원 방사선 사진을 이용해 왔다. 잘 알려진 대로 이 방법은 방사선 사진 영상의 확대나 왜곡, 3차원 구조물의 2차원 평면화에 따른 중첩과 단순화, 입체 치료 계획 수립의 어려움 등 문제를 가지고 있다(Katsumata et al., 2005; Maeda et al., 2006).

최근 악안면 기형의 진단 및 치료 분야에서 컴퓨터 그래픽과 디지털 영상기술을 접목한 3차원 가시화 기술은 눈부시게 발달하고 있다. 특히 3차원 CT를 이용하여 얼굴 구조를 입체적으로 관찰하고 진단하여, 2차원적으로 파악이 어려운 3차원 구조물의 이해를 넓히고 효과적으로 치료 계획도 수립할 수 있게 되었다(Cavalcanti et al., 1999). 또 3차원 CT로 입체 영상을 구성하고 원하는 위치로의 회전이나 축의 조정이 가능하며 기존 2차원 방사선 사진의 영상 확대나 왜곡을 감소시키고 정확한 측정이 가능하다(De Momi et al., 2006).

그러나 이러한 장점을 가진 3차원 CT를 이용해 악안면 기형을 진단하기 위해서는 2차원 분석의 기준선이나 기준점과 마찬가지로 기준평면이 필요하다. 그러나 3차원 CT를 이용한 분석에서는 이러한 기준이 뚜렷이 마련되지 못하고 있다(Katsumata et al., 2005). 더구나 2차원 방사선 사진인 측두 계측 방사선 사진에서와 같이 중력에 의한 수직, 수평면 확인 장치가 누워서 촬영하는 3차원 CT에서는 존재하지 않는다.

현재 3차원 악안면 기형 분석에서는 2차원 분석에서 사용되었던 Frankfort 수평면(Frankfort horizontal plane, FH)이나 Sella-Nasion plane(SN) 등이 그대로 사용되고 있다(Barbera et al., 2009; Madsen et al., 2008). 그러나 3차원 상의 양측에 존재하는 특성이나 3차원 공간 상에 존재하는 특성 등 때문에 기준점 지정이나 평면 구성에 어려움이 있다. 또 FH 평면은 사람에서 머리의 수평성을 비교적 잘 표현하는 평면으로 인정받고 있지만, 안와의 크기나 두개저 발달 차이에 의한 외이도 위치의 변이로 개인차가 있을 수 있다(Kean, 1958). 그리고 포유류 두개에서는 사람에서와 같이 FH 평면을 사용할 수 없는 것으로 보아 이론적으로 적절하게 설정된 평면이 아니라고 할 수도 있다(Matsumoto, 1983).

Natural head position(NHP)는 일반적으로 자연스러운 상태에서 머리가 균형을 유지하고 시선은 수평선을 향할 때 머리 자세를 의미한다(Barbera et al., 2009; Cole, 1988; Moorrees, 1994). 악안면 기형의 진단 뿐 아니라 인류학, 예술 등의 분야에서 가장 이상적인 수평 평면으로 인정받고 있으면서도 이 평면을 설정하기는 어려워 사용에는 제한이 있었다. Matsumoto는 이상적인 평면 설정을 위해서 두개 내 구조물이면서 형태적으로 단순하고 기하학적으로 명료하기도 해야 하지만 가능한 NHP에 가깝고 안정적이어야 한다고 하였다. 따라서 많은 연구들에서 NHP를 잡기 위한 여러 방법을 제시하였는데, 최근에는 NHP를 정하기 위하여 FH 등과 함께 neutral horizontal axis를 동시에 고려하는 것이 좋다고 하였다.

NHP에서 시선은 중요한 의미를 갖는다. 왜냐하면 사람의 얼굴 발달은 직립 보행하는 사람의 특성 때문에 다른 포유동물들과 차별되는 시축(visual axis)을 갖고 그에 따라 성장 발육을 하기 때문이다(Enlow, 1982). 위에서 설명한 Barbera 등의 neutral horizontal axis도 시축에 해당하는 안구축(orbital axis)을 의미하고 있다.

Sassouni도 그의 분석법에서 NHP를 위해 안구축의 개념을 도입하였다(V Sassouni, 1955). 따라서 악안면 기형 환자의 진단 평가를 위한 기준 수평면의 설정은 시축 혹은 안구축에 해당하는 수평 평면을 설정하는 것이 가장 이상적일 것으로 추론할 수 있다.

시축은 안구의 렌즈와 망막의 fovea를 연결한 선이지만(Grey, 1975), 일반적으로 평면 설정을 위해서는 지평선을 보고 있을 때의 렌즈-망막을 연결한 선을 의미한다. 이와 유사한 개념으로 안와(안구)의 중심과 시신경관 optic foramen을 연결하는 안구축을 들 수 있다(Matsumoto, 1983). 시축은 3차원 CT 영상에서 설정하기 어렵고 시선에 따라 변화하지만, 안구축은 일정하며 시축을 대신하는 의미로 사용될 수 있다(그림.1-2,3).

따라서 본 연구에서는 시축과 관련된 평면을 3차원 CT에서 설정하고, 이 평면이 안정적이면서 다른 기준 평면들과 일정한 관계를 갖는지 확인하고자 하였다. 그래서 Delaire 분석의 기준 평면인 C3 plane과 CF1 plane, 일반적인 FH plane, 교합평면, 정중 기준 평면, 그리고 Enlow의 PM plane과 비교하였다.

또 NHP는 악골 기형의 상태와 연관되어 있을 수 있다고 하였다(Leitao and Nanda, 2000). 예를 들어 하악골 전돌증의 경우 NHP이 정상인에 비해 하방 경사되어 있고, 하악골 후퇴증은 그 반대라고 하였다(Halazonetis, 2002; Madsen et al., 2008; Moorrees, 1994). 만일 하악골의 전돌 또는 후퇴에 따라 NHP가 변한다면 안구축이나 시축을 이용한 평면은 각 기형 그룹에 따라 다르고 결국 안정성이 떨어져 기준 수평면으로 이용하기 부적합할 수 있다. 따라서 3차원 CT에서 설정된 시축 관련 평면을 정상군, 하악골 전돌군, 하악골 후퇴군에서의 각각 평가하고 이들간에 차이가 있는지 알아보려고 하였다.

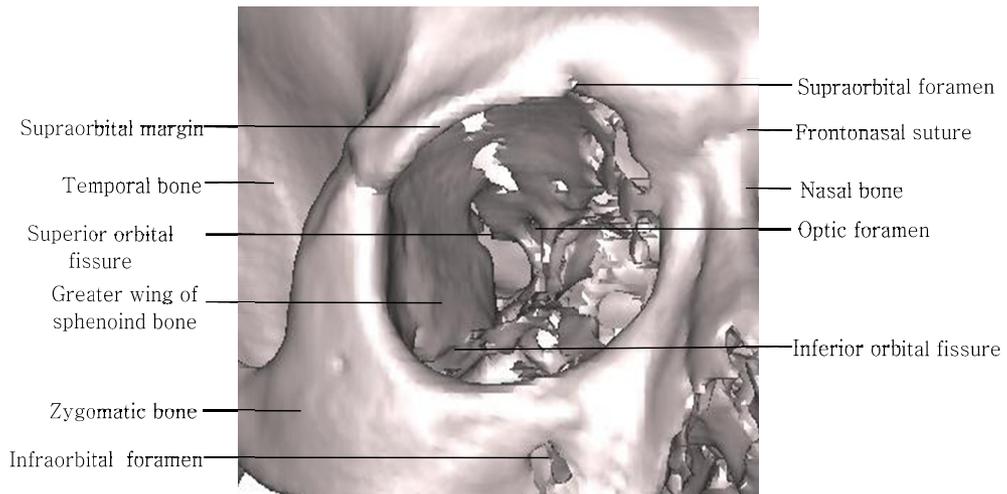


Fig.1-1 Frontal view of the bony orbit

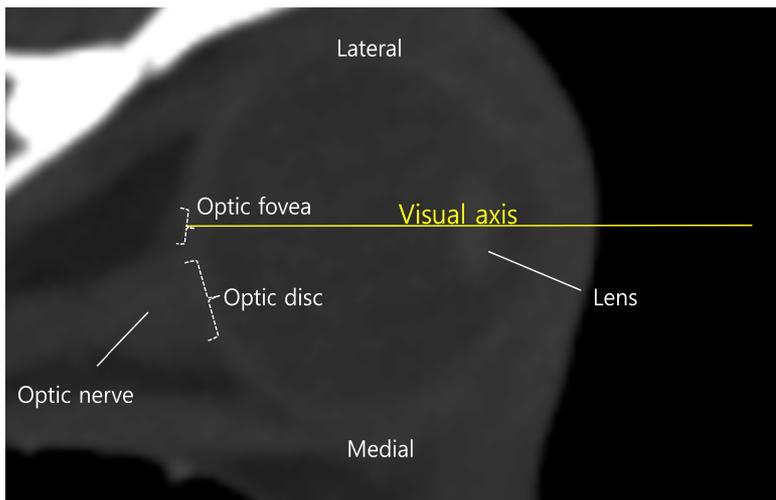


Fig.1-2 Horizontal section of the eyeball. Note the visual axis (Grey, 1975).

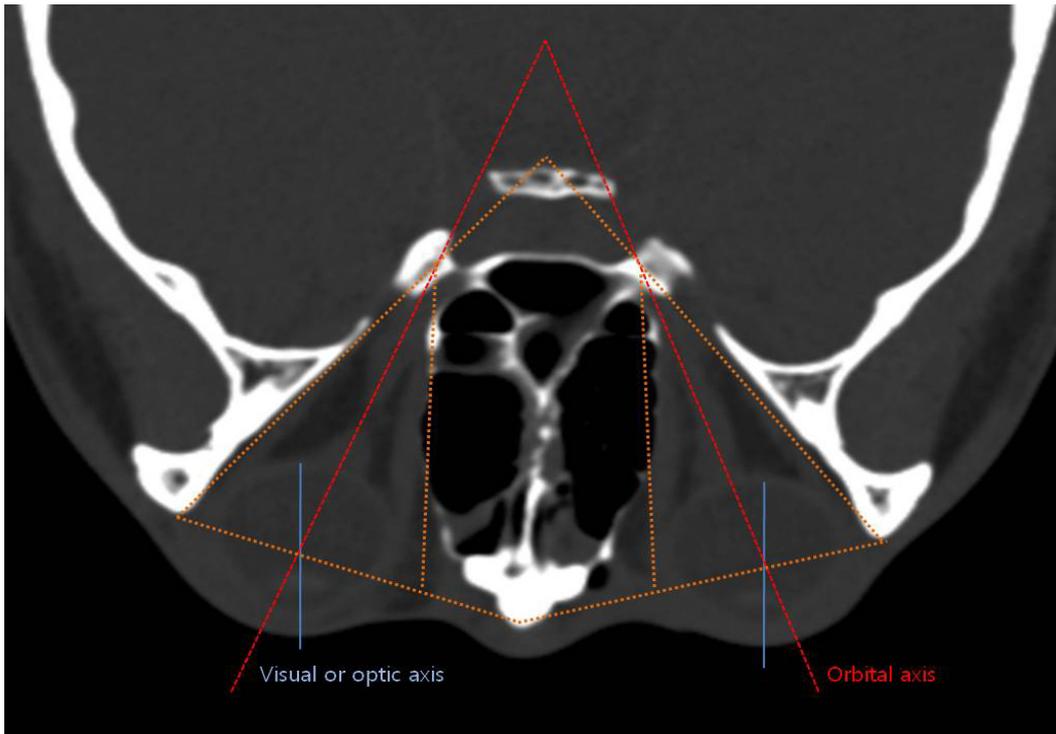


Fig. 1-3 Diagrammatic horizontal section through orbit, The visual axes; here shown directed toward a distant object, are nearly parallel (Gardner, 1975).

II. 연구대상 및 연구방법

1. 연구 대상

2005 년 1 월~ 2009 년 12 월까지 최근 5 년간 본과에 내원하여 3 차원 CT 촬영을 시행하고 악안면 기형 분석을 시행 받은 환자 중 36 명과 정상인 8 명을 대상으로 하였다. 악안면 기형 분석을 시행 받은 16 명은 하악골의 후퇴증과 구치부의 Angle 씨 분류 II 급 환자였으며, 나머지 20 명은 하악골 전돌증이고 Angle 씨 분류 III 급 환자였다. 각 그룹에 대한 일반적 정보는 표 1 과 같다.

Table.1 Summary of Groups

	N (person)	Average of age	Angle' s classification
Group I (Normal control)	8	20.2	I
Group II (Mandibular retrognathism)	16	22.5	II
Group III (Mandibular prognathism)	20	19.7	III
Total	44	20.8	-

2. 연구 방법

가. 3차원 CT의 촬영

2차원 측두 계측방사선 사진에서는 머리의 위치를 술자가 조정하여 NHP에 가깝도록 하였으며, 3차원 CT 촬영 시에는 영상을 촬영 시 피험자의 머리 위치가 FH 평면에 일치하도록 조정하였다. CT 촬영은 연세대학교 세브란스 병원에 설치된 High-speed Advantage CT(GE Medical System Milwaukee, U.S.A)를 사용하였고 프로토콜은 High resolution bone algorithm, 200mA, 120kV, scanning time 1 second, 1mm thickness, 512 * 512 pixel 로 하였다.

나. 3차원 CT 영상 재구성

촬영된 단면촬영 영상정보는 digital imaging communication in medicine(DICOM) 파일 형식으로 저장하고, 3차원 입체 의료영상 프로그램인 Simplant pro crystal (Materalise Dental, Belgium)을 사용하여 두개골 3차원 입체 영상으로 재구성하였다(그림 2).

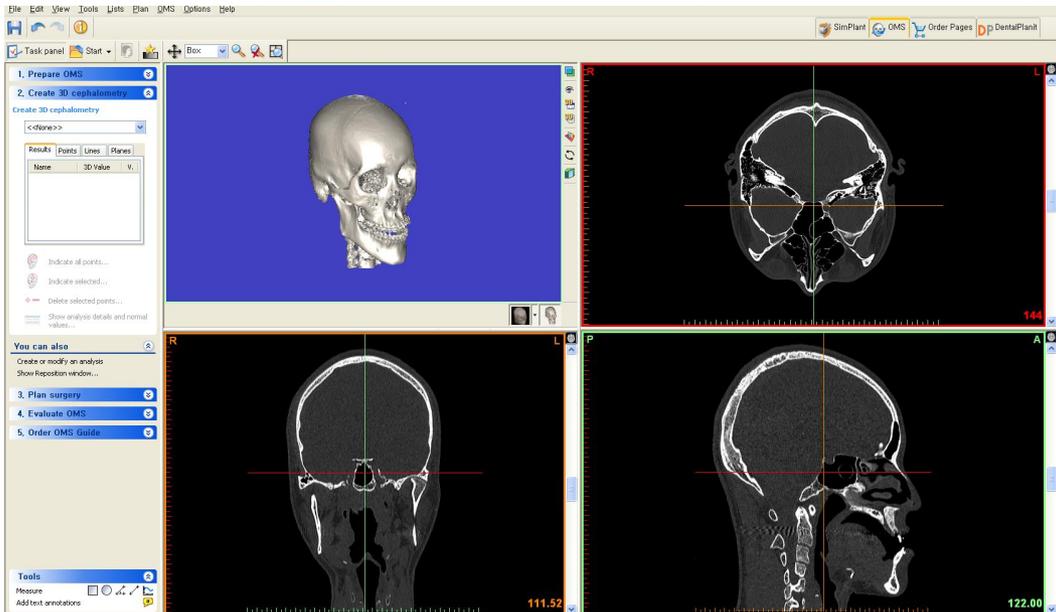


Fig. 2 Reconstruction of the 3D images in the software, Simplant Pro Crystal

다. 기준점 및 평면의 설정

A. 기준점 설정

기준점 지정은 한 명의 술자가 총 44명의 환자를 모두 1회씩 지정하였고, 입력된 기준점은 총 29개로 표 2와 같다. CF1을 결정하는 NP 점은 nasal floor level 에서 axial view로 볼 때 nasopalatine canal이 온전히 보이는 최상방점으로 지정하였다. 상악 제1 대구치의 교두는 교정 장치 등에 의해 beam artifact가 심하여 설정하기 어려운 경우 가장 인접한 위치를 임의 설정하였다. 또 안구의 중심인 EC는 관상, 시상, 수평 평면 모두에서 안구의 중심이 되도록 기준점을 설정하였다. 그외에 Or은 EC와 같은 시상면에서 설정하였고, GWS는 두개저와 접형골이 수직으로 만나는 접점을 설정하되 정중 기준평면에 근접할 때는 한 점만 설정하였지만 양측에 존재할 때는 좌우로 두 개의 기준점을 정하고 이들의 중점에 의해 결정되도록 하였다. 자세한 기준점의 표기 및 정의는 아래 표 2, 3과 같다.

Table 2. The definition of reference points that were used in this study

Points	Definition	Bilaterality
FM (Frontomaxillary suture)	continuation of the upwards extension of the lacrimal ridge to the frontomaxillary suture	√
M	junction of the frontonasal and nasomaxillary suture	√
Clp (Clinoid process)	apex of the posterior clinoid process	√
NP (Nasopalatine canal)	anterior wall of nasopalatine canal, nasal floor level	
U1 tip	mid-point of #11(or #21) incisal edge	
#16,#26 cusp	mesiobuccal cusp tip of #16(or #26) tooth	√
FC (Foramen cecum)	the most anterior & superior point of foramen cecum	
CFM (Center of foramen magnum)	center of foramen magnum in Basion level	
OC (Optic canal)	the most superior point of optic canal	√

EC (Eye ball center)	center point of eye ball	√
FxCe (Falx cerebri)	the point on narrow line of falx cerebri nearest bregma	
Po (Porion)	the most superior point of bony exterior auditory canal	√
Or (Orbitale)	the point in orbital inferior wall in EC level	√
ON (Optic nerve)	midpoint of optic nerve on eyeball	√
L (Lens)	center point of lens	√
PMF (Pterygomaxillary fissure)	the lower most point of pterygomaxillary fissure	√
GWS (Greater wing of sphenoid)	the point that intersected great wing of the sphenoid and anterior cranial base	(√)

Table 3. The definitions of reference points that were constructed in this study

Points	Definition
Mx 6 cusp	midpoint of cusp tip of #16 & 26
Clp-1	A point intersected by the MS plane & through R & L Clp
M-1	A point intersected by the MS plane & through R & L M
FM-1	A point intersected by the MS plane & through R & L FM
EC-1	A point intersected by the MS plane & through R & L EC
OC-1	A point intersected by the MS plane & through R & L OC
Or-1	A point intersected by the MS plane & through R & L Or
Po-1	A point intersected by the MS plane & through R & L Po
ON-1	A point intersected by the MS plane & through R & L ON
GWS-1	A point intersected by the MS plane & through R & L GWS

*MS : midsagittal plane constructed by three reference points explained below

B. 기준평면의 설정

시선, 특히 안와축과 관련된 평면을 설정하고 검증하기 위해 총 6개 기준 평면을 설정하였다. 정중 기준평면은 3개의 기준점을 통과하는 평면으로 FxCe, CFM, FC를 포함되도록 하였다. C3 plane, FH plane, PM plane, 교합평면, CF1 plane은 모두 정중 기준 평면에 직각이면서 각각의 기준점을 지나도록 설정하였다(표 4).

Table 4. The constructed reference planes

Planes	Description
Midsagittal	The plane constructed by three points; FxCe, CFM and FC
C3	The plane that through the 2 points, M-1 & Clp-1 and normal to midsagittal plane
FH	The plane that through the 2 points, Or-1 & Po-1 and normal to midsagittal plane
PM	The plane that through the 2 points, PMF-1 & GWS-1 and normal to midsagittal plane
Occlusal	The plane that through the 2 points, U1 tip & Mx 6 cusp and normal to midsagittal plane
CF1	The plane that through the 2 points, NP & FM-1 and normal to midsagittal plane

C. 안와축을 표현하는 평면의 설정

본 논문에서 시축(visual axis)과 관련된 점으로 L(Lens), EC, optic fovea, OC를 대상으로 기준점을 설정하고자 하였으나 인간의 눈에서 상이 맺히는 부분인 optic fovea는 해부학적 구조가 명확하지 않아 3차원 CT 상에 설정할 수 없어 주변 구조물로 위치 차이가 없는 ON으로 대체하였다. 따라서 L, EC, ON, OC의 조합으로 이루어지는 여러 평면 중 좌우 EC와 OC-1을 포함하는 평면을 OAP(안와평면, Orbital axis plane), 좌우 EC와 ON-1을 포함하는 평면을 VAP(시축평면, Visual axis plane), 그리고 좌우 L과 ON-1을 포함하는 평면을 OpAP(안구평면, Optical axis plane)로 각각 설정하였다(표 5).

Table 5. Construction of the visual axis related horizontal planes that were hypothesized & evaluated in this study

Planes	Description
OAP (Orbital axis plane)	The plane constructed by three points ; R EC, L EC and OC-1
VAP (Visual axis plane)	The plane constructed by three points ; R EC, L EC and ON-1
OpAP (Optical axis plane)	The plane constructed by three points ; R L, L L and ON-1

D. 안구 관련 기준선의 설정

본 연구에 이용한 안구 관련 기준선으로는 OA(안와축, Orbital axis), VA(시축, Visual axis), OpA(안구축, Optical axis)가 있다. 모두 좌우 양측으로 2 개씩 설정하였다. OA 는 EC, OC 를, VA 는 EC, ON 을 통과하며 OpA 는 L, ON 을 통과하는 선으로 지정하였다(표 6).

Table 6. Construction of the visual axis related lines

Lines	Description
OA (Orbital axis)	The line constructed by 2 points ; EC, OC
VA (Visual axis)	The line constructed by 2 points ; EC, ON
OpA (Optical axis)	The line constructed by 2 points ; L, ON

본 연구에서 사용한 평면 9 개는 3 차원 영상에서 그림 3 과 같이 구성된다.

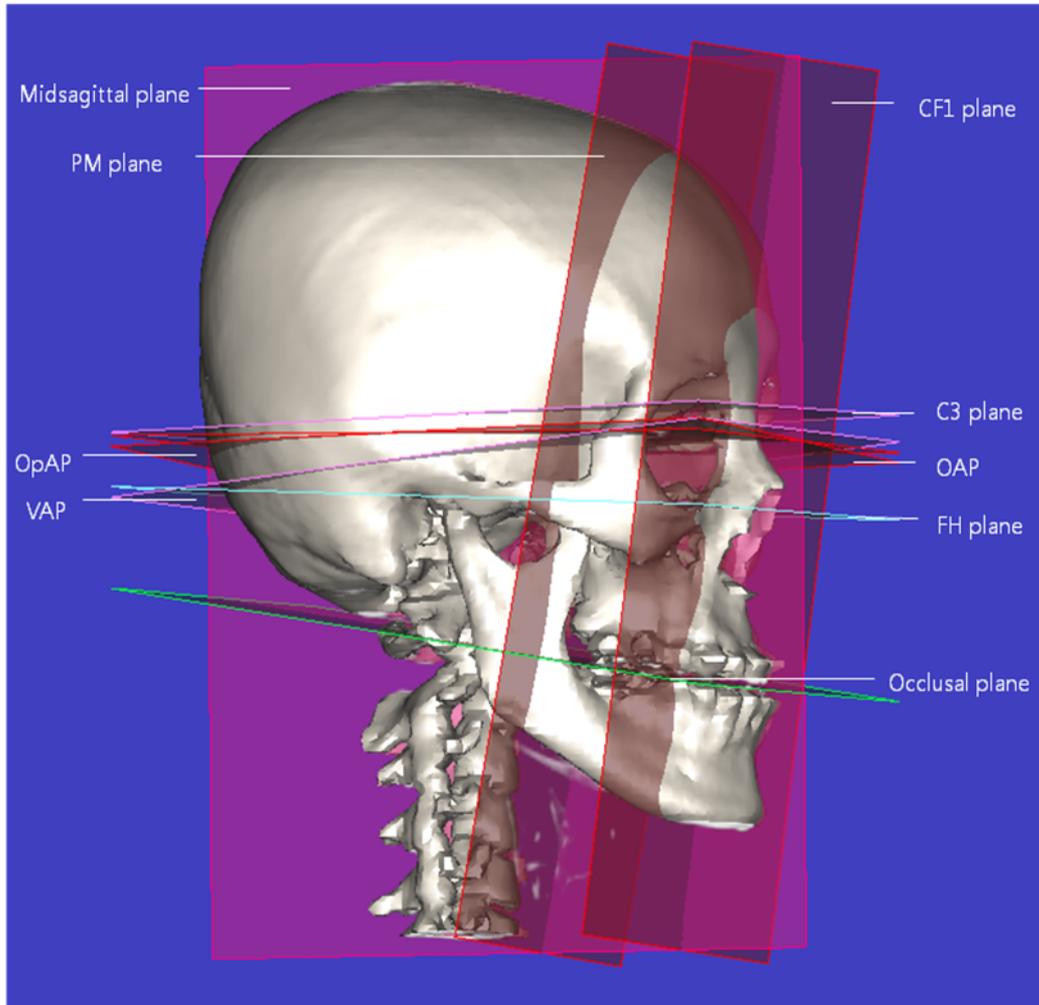


Fig. 3 Reconstruction of the reference planes, OAP, VAP & OpAP in 3D image

라. 기준평면과 안구 관련 평면 사이의 각도 측정

Group I, II, III 환자에서 기준평면인 정중 기준평면, FH plane, 교합평면, C3 plane, CF1 plane, PM plane 과 안구 관련 평면인 OAP, VAP, OpAP 가 만나는 각도를 구하고 각 군 에서의 평균과 표준편차, 그리고 ANOVA 를 이용해 유의성을 검증하였다.

마. 정중 기준 평면과 안구 관련 기준선 사이의 각도 계측

정중 기준 평면과 안구 관련 기준선 좌우 OA, VA, OpA 가 만나는 각도를 구하였다. Group I, II, III 에서 OA, VA, OpA 의 좌우측 차이와 전체 값의 평균, 표준편차를 구하고, ANOVA 를 이용해 유의성 검증하였다.

바. 기준점의 반복 재현성(reproducibility) 검증을 통한 방법 오차

기준점 중 우측 PO, ON, OC, EC, Clp 의 총 5 개를 실험군과 상관없이 무작위 선정하여 5 명에서 10 번씩 기준점을 지정하였다. 각각의 기준점의 좌표측과 3 차원상의 거리 오차를 달버그 공식(Dahlberg' s formula)을 이용하여 구했고 그 공식은 아래와 같다.

$$X\text{좌표상 거리 오차 } e_x = \sqrt{\Sigma(x^n - x^{n-1})^2/2N}$$

$$Y\text{좌표상 거리 오차 } e_y = \sqrt{\Sigma(y^n - y^{n-1})^2/2N}$$

$$Z\text{좌표상 거리 오차 } e_z = \sqrt{\Sigma(z^n - z^{n-1})^2/2N}$$

3차원 거리오차 e_{3D}

$$= \sqrt{\Sigma[(x^n - x^{n-1})^2 + (y^n - y^{n-1})^2 + (z^n - z^{n-1})^2]/2N}$$

III. 연구 결과

1. 정중 기준 평면과 안구 관련 평면간의 각도

기준점 EC, OC 와 관련된 평면인 OAP, 기준점 EC, ON 과 관련된 평면인 VAP, 기준점 L, ON 과 관련된 평면인 OpAP 와 정중 기준 평면 간의 각도 평균과 표준편차는 아래 표 7 과 같다. OAP, VAP, OpAP 세 평면 모두 정중 기준평면과 하악골 전돌, 후퇴의 특성을 가진 그룹과 관계없이 수직에 가까웠으며 편차는 1.3~1.6 도를 보였다. p 값이 모두 0.05 보다 커서 각 그룹간의 통계학적인 차이는 없었으며 다른 기준평면들에 비해 비교적 작은 편차를 보였다(표 7).

Table 7. The measurement of angles formed by midsagittal & visual axis related horizontal planes.

Group	MS		
	OAP	VAP	OpAP
I	90.4±1.6	89.9±1.6	88.9±1.6
II	89.9±1.3	89.9±1.3	90.2±1.3
III	90.2±1.3	90.2±1.3	90.3±1.4
Total	90.1±1.3	90.0±1.4	90.0±1.5
p	0.77	0.91	0.08

2. 정중 기준 평면과 안구 관련 기준선 간의 각도

정중 기준 평면과 안구 관련 기준선인 좌우 OA, VA, OpA가 만나는 각도를 구하여 평균과 표준편차를 표 8에 나타냈다. OA는 24.3도에서 25.8도, 편차는 1.6도에서 1.9도이며 평균은 25.3도정도이다. VA와 OpA의 평균은 14.3도에서 23.1도를 보이고 편차는 1.6도에서 3.8도로 OA의 편차보다 큰 양상을 보인다. OA, VA, OpA 각각의 p 값은 모두 0.05보다 커서 그룹간 통계학적인 차이는 없었다.

Table 8. The measurement of angles formed by MS & visual axis related lines .

Group	MS		
	OA	VA	OpA
I	24.3±1.9	23.1±3.5	14.3±2.2
II	25.3±1.6	21.7±3.6	14.4±3.8
III	25.8±1.9	22.8±2.6	16.7±1.6
Total	25.3±1.9	22.5±3.5	15.4±3.4
p	0.16	0.55	0.68

3. 기준평면 C3, FH, PM, CF1, 교합평면과 안구 관련 평면 간의 각도

기준평면이면서 중요한 C3, FH, PM, CF1, 교합평면을 안구 관련 평면과 비교하기 위하여 이들 간의 각도를 측정하였다. C3 와 OAP 가 이루는 각도는 평균 175.4 도이고 표준편차는 2.5 도였다. VAP 와 OpAP 가 다른 기준평면과 이루는 각도는 OAP 에서보다 다소 작았으며 편차도 더 컸다. 또 FH 와 OAP 가 이루는 각도는 평균 176 도이고 표준편차는 2.2 도였다. VAP 와 OpAP 와의 각도는 C3 에서와 마찬가지로 OAP 보다 다소 작았으며 편차는 더 컸다. 한편 PM 과 OAP, VAP, OpAP 가 이루는 각도는 평균 89 도 정도였고 표준편차는 5.1 도에서 9.2 도로 C3, FH 와의 각도 평가에서보다 큰 편차를 보였다. 그리고 이들 모두 각각의 비교에서 p 값은 모두 0.05 보다 커서 그룹간 통계학적인 차이는 없었다(표 9).

Table 9. The measured angles between the reference planes (C3, FH, PM) & visual axis related horizontal planes.

Group	C3			FH			PM		
	OAP	VAP	OpAP	OAP	VAP	OpAP	OAP	VAP	OpAP
I	176.7 ±1.0	174.9 ±3.3	174.9 ±2.4	176.6 ±1.4	173.9 ±3.5	175.4 ±2.7	89.2 ±4.1	92.9 ±6.2	91.1 ±8.2
II	174.7 ±2.8	171.5 ±4.2	171.3 ±6.4	176.5 ±2.6	172.5 ±3.2	173.1 ±5.1	89.6 ±5.8	90.8 ±9.8	90.1 ±10.2
III	175.4 ±2.1	173.5 ±6.8	172.3 ±6.5	175.4 ±3.2	173.8 ±6.7	173.2 ±5.5	89.7 ±7.3	85.9 ±9.1	87.6 ±8.4
Total	175.4 ±2.5	173.0 ±4.1	172.9 ±5.6	176.0 ±2.2	173.3 ±3.2	173.6 ±4.5	89.5 ±5.1	89.0 ±8.7	89.2 ±9.2
<i>p</i>	0.08	0.31	0.36	0.29	0.75	0.45	0.9	0.11	0.57

표 10 은 기준평면 CF1, 교합 평면과 안구관련 평면간의 평균 각도를 나타낸 것이다. CF1 과의 각도는 평균 88.5 도에서 89.1 도를 보이며 편차는 7.3 도에서 10.7 도를 보인다. 교합평면과의 각도는 평균 168.8 도에서 170.2 도정도를 보이고 편차는 6.6 도에서 7 도를 나타내었다.

표 9 에서와 마찬가지로 각각의 비교에서 P 값은 모두 0.05 보다 크므로 그룹간 통계학적인 차이는 없었다.

Table 10. The measurement of angles formed by reference planes(CF1, Occlusal plane) & visual axis related horizontal planes

Group	CF1			Occlusal plane		
	OAP	VAP	OpAP	OAP	VAP	OpAP
I	89.0 ±5.0	93.3 ±8.1	91.4 ±6.2	169.9 ±4.4	168.7 ±7.2	169.6 ±6.3
II	88.7 ±8.5	89.8 ±11.8	90 ±11.9	167.8 ±7.1	166.2 ±7.2	166.9 ±6.9
III	89.5 ±9.2	85.5 ±9.1	87.3 ±8.5	172.2 ±6.2	170.9 ±6.1	171.8 ±5.1
Total	89.1 ±7.3	88.5 ±10.7	89.0 ±10.1	170.2 ±6.6	168.8 ±7.0	169.6 ±6.7
<i>p</i>	0.84	0.18	0.59	0.60	0.11	0.08

4. 기준점의 반복 재현성

우측 PO, ON, OC, EC, Clp, 총 5 개의 기준점을 Group 과 상관없이 무작위로 선정한 환자 5 명에서 10 번씩 지정한 후 각각의 기준점의 3 차원상의 거리 오차를 구하였으며 5 명의 평균값을 구하였다(표 11.), 오차 공식은 달버그 공식을 이용하였다. 오차는 5 명 환자의 평균에서 약 0.5mm~ 1.3mm 정도로 나타났다.

Table 11. The pointing error of the reference points (Average±SD, mm)

Reference points	X axis	Y axis	Z axis	3D
R PO	0.2±0.1	0.4±0.2	0.5±0.1	0.6±0.1
R ON	0.3±0.1	0.4±0.1	0.1±0.1	0.6±0.07
R Clp	0.3±0.1	0.3±0.2	0.1±0.2	0.5±0.2
R OC	0.6±0.5	0.9±0.9	0.4±0.4	1.3±1
R EC	0.5±0.1	0.5±0.1	0.7±0.2	0.9±0.1

IV. 고 찰

인류학적인 연구 목적이거나 악안면 기형의 연구-치료 목적으로 두부 방사선 사진을 촬영하고 분석, 비교하는 것은 가장 오래된 방법이다(Cooke and Wei, 1988b; Grayson et al., 1983). 이를 위해서 기준선을 마련하고 이에 기초하여 악안면 기형을 분류하고 그 유형을 설명하거나, 환자의 성장 분석과 치료목적으로 방사선 사진을 중첩하였다. 그리고 이때 두부 방사선 사진의 분석과 중첩을 위한 기준선은 자연 상태에 있는 머리의 위치와 방향(orientation), 즉 NHP를 가장 잘 표현하는 것이 이상적이라고 생각하였다(Adamidis and Spyropoulos, 1992; Barbera et al., 2009; Cooke and Wei, 1988a; Lundstrom, 1990).

머리 자세(head position)는 일반적으로 머리의 반사 시스템에 의해 조정된다고 알려져 있다. 여기에는 근육의 고유 감각 자극과 중력에 대한 반응, 그리고 시각 자극에 대한 미세조정 기전에 의한 반응이 있다(Cuccia and Caradonna, 2009). 따라서 NHP는 시각 반사, 중력, 근육의 고유 감각 자극, 기도 열림, 온도, 개성, 분위기, 감정 등 여러 물리적 요소에 의해 영향을 받아 표현된다(Fjellvang and Solow, 1986; Solow and Sonnesen, 1998).

결국 NHP는 먼 사물이나 지평선을 볼 때 머리가 자연적으로 적응된 정상적인 균형 자세라고 정의할 수 있다. NHP를 직접 두개 악안면 분석에 사용하기 위해서는 이 자세를 재현하는데 신뢰할 수 있고 안정적이어야 한다. NHP의 재현성이 뛰어나다는 주장도 있으며(Cooke, 1990; Cooke and Wei, 1988a; Luyk et al., 1986)반대로 머리 고정 장치와 같은 장치의 사용이 필요하고 사진 중첩 방법 등을 부가적으로 사용해야 하기 때문에 번거로움과 시간 낭비가 될 수도 있다는 주장도 있었다(Cuccia and Carola, 2009).

NHP를 잘 표현할 수 있는 기준선으로는 가장 흔하게 FH 평면이 꼽힌다. 그러나 한편에서는 FH 평면이 NHP를 잘 표현하지 못하고, NHP를 표현하는 true horizontal plane과 평균 1.3도, 편차 5도의 차이(Downs, 1956), 서 있을 때 13도, 앉았을 때 5도 차이(Ferrario, 1993)가 있다고 하였다.

NHP를 유지하기 위해서는 특히 시각 반사나 시선의 영향이 중요하다. 예를 들어 시력 장애가 있는 그룹의 머리 자세는 정상인 그룹과 다르다. 특히 정상인에 비해 시력 장애 그룹에서 머리가 4.3도 낮게, 목은 4.5도 더 전방으로 기울어져 있다고 한다 (Fjellvang and Solow, 1986). 그러므로 시선을 포함하는 기준선은 NHP를 표현하는데 유리하다고 생각할 수 있다.

눈(eye)의 성장은 조기에 종료되며 사람의 얼굴 성장과 발달에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다(D. H. Enlow and Moyers, 1971). 특히 전두개저(anterior cranial base)에 위치하는 시신경관(optic canal)과 그 주변 구조는 성장 과정에서의 해부학적 변화가 거의 없다고 인정되고 있다(Belden et al., 1997; Standerwick and Roberts, 2009). 그러나 두부 방사선 사진과 같은 2차원 분석에서는 눈의 구조를 직접 확인하기 어려웠다. 그러나 CT를 이용한 3차원 분석에서는 안구나 시신경관 등의 눈 구조물을 명확히 확인하고 기준점으로도 설정할 수 있어 유용성이 더 커졌다고 할 수 있다(Cavalcanti et al., 1999; Katsumata et al., 2005; Maeda et al., 2006).

눈을 포함하고 보호하는 안와는 형태학적으로 안정되고 그 내부를 지나는 안구축은 비교적 수평 주행하여 포유류의 안면 발달 분석에 이용되기도 하였다(Matsumoto, 1983). 특히 optic plane은 골격상의 기준점이기 때문에 머리 계측 시 FH를 대신할 수 있다고 하였다(V Sassouni, 1971). 여기서 optic plane은 전방 침대돌기(anterior clinoid process)와 안와 지붕의 접선을 지나는 안와 상공 평면과, sella turcica와 안와저의 접선을 지나는 안와 하공 평면이 이루는 각을 이등분하는 평면으로 정의되었다. 안와를 이용한 기준선과 평면은 여러 정의로 사용되어 왔는데, 이미 언급한 optic plane 외에도 neutral axis plane, orbital axis plane 등이 있다.

본 연구에서 안구의 중심과 시신경관을 연결하는 안구축을 이용하여 기준평면을 만들었고, 그 외에도 시축(visual axis), 안구축 등도 함께 평가하였다. 처음에 시축과 관련된 점으로 수정체(Lens) 점, EC, optic fovea, OC를 설정하여 연구를 시작하였으나, 인간의 눈에서 상이 맺히는 부분인 optic fovea는 해부학적 구조가 3차원 CT상에서 확인되지 않아(Rohrschneider, 2004) 설정할 수 없었고 주변 구조물인 시신경을 이용한 점 ON으로 대체하였다. 따라서 L, EC, ON, OC의 조합으로 이루어

지는 여러 평면 중 좌우 EC와 OC-1을 포함하는 평면을 OAP(Orbital axis plane)로 설정하였고 좌우 EC와 ON-1을 포함하는 평면을 VAP(Visual axis plane)로 설정하였으며 좌우 L과 ON-1을 포함하는 평면을 OpAP(Optical axis plane)로 설정하였다.

기준점 EC, OC와 관련된 평면인 OAP, 기준점 EC, ON과 관련된 평면인 VAP, 기준점 L, ON과 관련된 평면인 OpAP와 정중 기준 평면간의 각도는 하악골의 전돌, 후퇴와 관계없이 모두 수직에 가까웠으며 편차는 1.3~1.6도였다. 각 그룹간의 통계학적인 차이도 없었고 다른 기준평면들과 비교해 가장 적은 편차를 보여, 이번 연구에서 설정된 시선 관련 평면은 수평성을 잘 유지하는 평면들로 생각할 수 있었다.

또 정중 기준 평면과 안구관련 기준선 좌우 OA, VA, OpA가 만나는 각도를 구하였는데, OA는 평균은 25.3도 (24.3도에서 25.8도), 편차는 1.6도에서 1.9도였다. 정상적으로 OA가 정중 평면과 이루는 각도가 약 22.5도라고 하기 때문에 큰 차이가 없는 것으로 생각되었고, 이 기준선들을 기초로 한 평면에 대한 신뢰성도 높이는 결과인 것 같다. 반면 VA와 OpA의 평균은 14.3도에서 23.1도를 보이고 편차는 1.6도에서 3.8도여서 OA보다 큰 차이를 보였다. 이러한 차이가 생기는 원인은 피험자들이 CT를 찍기 위해 누운 자세에서 시선을 정면이 아닌 다른 부위에 두거나 머리의 자세를 숙이고 이에 따라 시선도 내려간 때문이라고 생각되었다.

본 연구에서 설정한 안구축 기준 평면 등의 신뢰성을 확인하기 위하여 여러 평면과의 관계도 확인하였다. 여기에는 FH 평면, Delaire의 C3 평면, PM plane 이있었다. 우선 본 연구의 OAP와 FH가 이루는 각도는 평균 4도(176도)였고 표준편차 2.2도였다. 이와 유사한 안구평면과 FH 평면이 이루는 각도가 Sassouni(1955)는 0.63도, 표준편차 2.33도라고 하였고, Downs(1956)는 1.3도, 표준편차 5도라고 하였다. 비록 이번 연구 결과와 차이가 있지만 평면의 정의가 달라 생길 수 있는 문제로 생각할 수 있겠다. 또 본 연구의 표준편차가 2.2도이었는데 이 결과는 위 연구에서 언급한대로 5도 미만일 경우 신뢰할 수 있다는 기준에 미루어 적절한 평면 설정이라고 생각되었다. 한편 본 연구의 다른 평면인 VAP와 FH가 이루는 각도는 평균 6.7도(173.3도), 표준편차 3.2도였고, OpAP와 FH가 이루는 각도는 평균 6.4도(173.6도), 표준편차 4.5도였으며 그룹간 통계학적 차이는 없었다.

또 다른 평면이 C3 평면과 OAP가 이루는 각도는 평균 175.4도이고 표준편차는 2.5도였으며, FH 평면과 비슷하게 OAP와 각도를 이루었다. 이러한 사실은 2차원 두부 방사선 사진에서 자주 관찰되는 결과여서 OAP 설정의 신뢰성을 높이는 결과로 생각되었다. 그리고 VAP, OpAP와 C3 평면과의 각도는 OAP에서보다 다소 작았고 편차는 더 컸다.

Enlow가 주장한 PM plane은 중안모(midface) 뒤쪽의 경계이면서 접형골과 90도를 유지한다. 일반적으로 상악용기의 최후하방점과 접형골의 최전방점의 평균점을 연결한 점으로 정의한다(Enlow, 1982). Enlow는 사람의 얼굴 성장 과정에서 PM plane은 두개, 인두, 얼굴의 중요 관계를 유지하고 표현하는 자연적 해부-형태 형성 평면(natural anatomic and morphogenetic plane)이며, 개체 발생 동안 침팬지와 인간을 포함하는 모든 포유류에서 안와축에 해당하는 안와의 Neutral horizontal axis와 거의 90도를 이룬다고 하였다. 본 연구의 결과 비록 편차가 크고 PM의 정의 자체가 2차원 분석을 바탕으로 한 것 이어서 3차원 영상에서 설정하기에 어려움이 있었지만 PM과 OAP 간의 각도는 평균 89.5도, 표준편차 5.1도였고, 다른 두 평면은 평균이 약간 작았다. 이러한 결과도 안와축 평면과 같이 이번 연구에서 설정된 평면들이 적절하게 구성되었다는 사실을 강하게 입증하고 있다.

또 본 연구의 평면들이 하악골 기형 유형에 따라 어떤 차이를 보이는 지 평가하는 것이 본 연구의 두 번째 목표였다. 이를 위해서 Delaire의 상악골 전후방 위치를 표현하는 CF1, 그리고 하악골의 회전 성장과 관련된 교합평면을 정상, 하악골 전돌 및 후퇴군에서 각각 평가하였다. 기준평면 CF1과 안구축 및 다른 시축 관련 평면 간의 각도는 88.5도에서 89.1도를 보였고 각 그룹별 차이도 발견되지 않았다. 편차도 커서 7.3도에서 10.7도 차이를 보여 신뢰할 수 없는 평면의 조건에 가까웠다. 또 교합평면과의 각도도 평균 168.8도에서 170.2도, 편차는 6.6도였고 그룹간 통계학적인 차이는 없었다. 이 결과들은 모두 시축 관련 평면이 각 기형군 별 특성을 잘 표현하지 못한다고 생각할 수 있다. 그러나 CF1 평면의 경우 기준점인 Nasopalatine canal 점이 비강쪽으로 가면서 갑자기 넓어지는 소견이 흔하게 발견되어 아직 정확한 3차원 기준점이 되지 못한다는 사실을 생각할 때 위 결과는 일견 인정할 수 있을 것으로 생각되었다. 또 교합평면의 경우 각 그룹별로 평균치의 차이는 있었지만 통계적 유의성은 없는 문제가 있었고, 좀 더 깊은 평가가 필요할 것 같다.

결과적으로 VAP, OpAP는 다른 기준평면간의 각도 비교에서 OAP보다 큰 편차를 보였다. 원인은 L과 ON의 설정에 있을 것으로 예상된다. 이미 언급한대로 Optic fovea를 대체할 만한 기준점으로 ON을 설정하였다. 그러나 시선에 따라 수정체와 ON이 상하, 좌우로 변하는데다가 3차원 CT 촬영 시 환자가 눈을 감고 누워있는 자세이기 때문에 술자가 환자의 시선을 조정하는 것이 불가능하다는 한계가 있었다.

또 2차원 분석에서도 마찬가지로이지만 기준평면을 이루는 기준점 사이의 거리가 짧을수록 각도 변화가 심하여 오차가 커진다는 단점이 있다. VAP, OpAP에 이용되는 기준점(L, EC, ON) 사이의 거리는 OAP에 사용되는 기준점(EC, OC) 사이의 거리보다 가깝다. 또 이 연구에 포함된 방법 오차를 평가하기 위하여 실시한 5개 기준점에 대한 오차는 2차원적으로 평균 0.1~0.9mm, 3차원에서 0.5~1.3mm 정도가 있을 수 있는 것으로 나타나 이들 역시도 기준점의 재현성에 문제를 가져올 수 있을 것이다. 이런 점에서 VAP, OpAP보다는 OAP가 3차원 약안면 분석에 있어 더 유용할 것으로 생각할 수 있다.

V. 결 론

얼굴 기형 환자의 진단 및 치료 계획 수립을 위해서는 2차원 분석법에서 사용되는 기준선이나 기준평면이 3차원 CT에서는 뚜렷이 마련되지 못하고 있다. 사람의 얼굴 발달은 직립 보행을 하기 때문에 다른 포유동물들과는 차별되는 시축을 갖게 되고 그에 따라 성장 발육을 하게 된다. 따라서 악안면 기형 환자의 3차원 진단 평가를 위한 기준 수평면의 설정은 시축을 이용한 수평면이 합당할 것이다. 또 하악골의 전돌 또는 후퇴증과 같은 기형은 머리 자세 변화와 관계 있다고 한다. 따라서 이들을 기준 평면으로 이용하였을 때 어떤 차이가 있는지 평가가 필요하다.

이에 본 연구에서는 안구를 이용한 평면을 3차원 CT에서 설정하도록 하고, Delaire 분석의 기준 평면이나 FH 평면, 정중평면과 비교하고, 하악골 전돌증, 후퇴증, 정상인 그룹을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 정중 기준 평면과 안구 관련 평면인 OAP(orbital axis plane), VAP(visual axis plane), OpAP(optical axis plane)는 정상인과 하악골 기형 환자 모두에서 약 90도의 각도를 보였다.
2. 정중 기준 평면과 안구축(orbital axis)의 각도는 평균 25.3도를 보였으며 이론적 정상치인 22.5도에 근접하였다. 그러나 VA와 OpA는 14.3도에서 23.1도로 다양하였다.
3. PM plane(posterior maxillary plane)은 안구 관련 평면인 OAP, VAP, OpAP와 정확하게 90도의 각도를 이루며 만났고 하악골 기형 종류에 따라서도 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

4. FH 평면, 교합평면이나 Delaire 분석의 C3 plane과 CF1 plane은 안구 관련 평면 OAP, VAP, OpAP와 비교적 일정한 각도를 이루었고, 대체적으로 VAP, OpAP와의 각도가 OAP보다 더 큰 편차를 보였다.

따라서 본 연구에서 설정된 안구축 평면 등은 일반적인 수평 평면인 FH 평면이나 C3 평면과 일정한 관계를 갖고, 정중 평면이나 PM plane과는 90도를 형성하는 것으로 보아 시축을 표현하고 natural head position(NHP)을 표현할 수 있는 적절한 평면이라 평가할 수 있겠다. 또 하악골의 전돌, 후퇴와는 무관하게 안구 관련 평면이 설정되는 것으로 보아 기형이 있어도 시축은 일정하다는 것도 알 수 있었다. 따라서 이들 중 편차가 크고 반복 재현성이 떨어지는 VAP나 OpAP보다 OAP를 이용한다면 악안면 기형의 3차원 분석에서 NHP에 가까운 수평 기준평면을 설정하여 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- Adamidis, I. P., Spyropoulos, M. N. 1992. "Hyoid bone position and orientation in Class I and Class III malocclusions". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 101(4): 308-312.
- Barbera, A. L., Sampson, W. J., Townsend, G. C. 2009. "An evaluation of head position and craniofacial reference line variation". *Homo* 60(1): 1-28.
- Belden, C. J., Mancuso, A. A., Kotzur, I. M. 1997. "The developing anterior skull base: CT appearance from birth to 2 years of age". *AJNR Am J Neuroradiol* 18(5): 811-818.
- Cavalcanti, M. G., Haller, J. W., Vannier, M. W. 1999. "Three-dimensional computed tomography landmark measurement in craniofacial surgical planning: experimental validation in vitro". *J Oral Maxillofac Surg* 57(6): 690-694.
- Cole, S. C. 1988. "Natural head position, posture, and prognathism: the Chapman Prize Essay, 1986". *Br J Orthod* 15(4): 227-239.
- Cooke, M. S. 1990. "Five-year reproducibility of natural head posture: a longitudinal study". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97(6): 489-494.
- Cooke, M. S., Wei, S. H. 1988a. "The reproducibility of natural head posture: a methodological study". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 93(4): 280-288.
- Cooke, M. S., Wei, S. H. 1988b. "A summary five-factor cephalometric analysis based on natural head posture and the true horizontal". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 93(3): 213-223.
- Cuccia, A. M., Caradonna, C. 2009. "The natural head position. Different techniques of head positioning in the study of craniocervical posture". *Minerva Stomatol* 58(11-12): 601-612.

- Cuccia, A. M., Carola, C. 2009. "The measurement of craniocervical posture: a simple method to evaluate head position". *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 73(12): 1732–1736.
- De Momi, E., Chapuis, J., Pappas, I., Ferrigno, G., Hallermann, W., Schramm, A., Caversaccio, M. 2006. "Automatic extraction of the mid–facial plane for cranio–maxillofacial surgery planning". *Int J Oral Maxillofac Surg* 35(7): 636–642.
- Downs, W. B. 1956. "Analysis of the dentofacial profile". *Orthod* 26: 20.
- Enlow: handbook of facial growth. 1982, pp. 165.
- Enlow, D. H., Moyers, R. E. 1971. "Growth and architecture of the face". *J Am Dent Assoc* 82(4): 763–774.
- Ferrario, V. F. 1993. "Craniofacial morphometry by photographic evaluations". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 103: 10.
- Fjellvang, H., Solow, B. 1986. "Cranio-cervical postural relations and craniofacial morphology in 30 blind subjects". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 90(4): 327–334.
- Gardner, E.: Anatomy. 1975, Igaku–shoin/Saunders, London.
- Grayson, B. H., McCarthy, J. G., Bookstein, F. 1983. "Analysis of craniofacial asymmetry by multiplane cephalometry". *Am J Orthod* 84(3): 217–224.
- Grey, D. J.: The Eye. In Anatomy, 1975, pp. 644.
- Halazonetis, D. J. 2002. "Estimated natural head position and facial morphology". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121(4): 364–368.
- Katsumata, A., Fujishita, M., Maeda, M., Ariji, Y., Ariji, E., Langlais, R. P. 2005. "3D–CT evaluation of facial asymmetry". *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 99(2): 212–220.
- Kean, C. F. A. M. a. M. R. 1958. "Natural head position, a basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs ". *Am. J. Phys. Anthropol.* 16: 213–234.

- Leitao, P., Nanda, R. S. 2000. "Relationship of natural head position to craniofacial morphology". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117(4): 406–417.
- Lundstrom, A. 1990. "Natural head position/a discussion of concepts". *Br J Orthod* 17(3): 249–250.
- Luyk, N. H., Whitfield, P. H., Ward–Booth, R. P., Williams, E. D. 1986. "The reproducibility of the natural head position in lateral cephalometric radiographs". *Br J Oral Maxillofac Surg* 24(5): 357–366.
- Madsen, D. P., Sampson, W. J., Townsend, G. C. 2008. "Craniofacial reference plane variation and natural head position". *Eur J Orthod* 30(5): 532–540.
- Maeda, M., Katsumata, A., Arijii, Y., Muramatsu, A., Yoshida, K., Goto, S., Kurita, K., Arijii, E. 2006. "3D–CT evaluation of facial asymmetry in patients with maxillofacial deformities". *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 102(3): 382–390.
- Matsumoto, S. 1983. "A New Coordinate System Using the Orbital Axis for Morphological Analysis of Primate Skulls". *Primates* 24(4): 21.
- Moorrees, C. F. 1994. "Natural head position—–a revival". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 105(5): 512–513.
- Rohrschneider, K. 2004. "Determination of the location of the fovea on the fundus". *Invest Ophthalmol Vis Sci* 45(9): 3257–3258.
- Sassouni, V. 1955. "A roentgenographic cephalometric analysis of cephalofacial–dental relationships". *Am J Orthod* 41: 29.
- Sassouni, V.: Orthodontics in dental practice. 1971, The C. V. Mosby Company, St. Louis.
- Solow, B., Sonnesen, L. 1998. "Head posture and malocclusions". *Eur J Orthod* 20(6): 685–693.
- Standerwick, R. G., Roberts, W. E. 2009. "The aponeurotic tension model of craniofacial growth in man". *Open Dent J* 3: 100–113.

Abstract

Evaluation of visual axis related horizontal reference plane for three-dimensional dysmorphic analysis

Yeon Hee Kang

Department of Dentistry

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Sang-Hwy Lee, D.D.S., M.S., Ph. D.)

For a logical and precise diagnosis and treatment of craniofacial dysmorphism, it is essential to have the standard and pertinent reference line or plane. A recent development of three dimensional(3D) imaging technology has been greatly devoting to the effective diagnosis and treatment planning, though there are not enough standard reference plane. The human craniofacial development critically depends on the vision based on the bipedalism, which is different from other vertebrate. So I thought the vision or orbital axis related reference plane would be essential for the understanding of the nature of 3D structure during the analysis or comparison of the dysmorphism.

So the purpose of this paper is to construct and verify the vision related reference planes in 3D CT and to evaluate the reliability upon the type of the dysmorphism. In order to complete this goal, I confirmed three vision related reference planes including OAP(Orbital axis plane), VAP(visual axis plane) and OpAP(Optical axis plane) for the mandibular prognathism(group II), retrognathism(group III), and normal control(group I).

1. The angulation between the vision related reference planes and midsagittal plane was almost vertical without the statistically difference among the groups.
2. The average angles measured between the midsagittal plane and orbital axis was 25.3° , which is similar to the theoretical 22.5° . And the average angulation between the midsagittal plane and visual axis and optical axis were different with 14.3° and 23.1° .
3. The posterior maxillary plane (PM plane) met OAP, VAP, and OpAP at 90° and they were not significantly different by the dysmorphologic groups.
4. The angles between FH plane, occlusal plane, C3 plane, or CF1 plane, and the vision related OAP, VAP, or OpAP, were relatively reasonable. But the variation of the VAP and OpAP were greater than that of OAP.

So the proposed orbit or vision related axis plane meet the FH plane or C3 plane at the reasonable angles and PM plane at 90° . It would suggest us that the proposed such vision related planes are proper to express the natural head position (NHP) and visual axis. And the planes were relatively consistent regardless of the dysmorphism types. So OAP, instead of VAP and OpAP with the less reliability, can be a horizontal reference plane to suggest us NAP and basic reference plane during the 3D analysis and treatment planning for dysmorphism.

Key words : three dimensional, 3D, CT, midsagittal plane, FH plane, C3 plane, CF1 plane, Occlusal plane, PM plane, Orbital axis plane, Visual axis, Optical axis