

3차원 CT 영상을 이용한
두개악안면 분석에서의 기준평면 설정

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 학 진

3차원 CT 영상을 이용한
두개악안면 분석에서의 기준평면 설정

지도교수 이 상 휘

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2005년 1월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 학 진

3차원 CT 영상을 이용한
두개악안면 분석에서의 기준평면 설정

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 학 진

김학진의 석사 학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2005 년 1 월 일

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 아낌없는 배려와 세심한 지도를 해 주시며, 사랑과 격려로 이끌어 주신 이상휘 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 많은 관심과 조언으로 심사를 맡아주신 이충국 교수님, 유선국 교수님께 감사드리며, 구강악안면외과를 전공하면서 이제까지 항상 격려해주시고 사랑으로 가르침을 주신 이의웅 교수님, 박형식 교수님, 차인호 교수님, 강정완 교수님, 김형준 교수님, 정영수 교수님께 진심으로 감사드립니다.

논문 연구를 위해 도움을 주신 유형석 교수님, 허경석 선생님, 신현교 선생님, 유완 선생님, 임아경 선생님 그리고 프로그램 개발에 노력하신 서울 C&J사와 임병완씨께 감사드리며, 아울러 이 논문이 있기까지 많은 도움과 격려를 보내준 여러 구강악안면외과 동기들과 선, 후배들에게 깊은 감사의 뜻을 전합니다. 특히 부족한 후배를 챙겨주고 격려해주신 박원서 선생님께 이 자리를 빌어서 감사의 말씀을 드립니다.

마지막까지 포기하지 않도록 힘을 주신 하나님의 은혜에 감사드리며 늘 기도로 뒤에서 후원해 주신 분당평강교회 가족들과도 같이 기쁨을 나누고 싶습니다.

마지막으로 항상 따뜻한 사랑과 격려로 힘이 되어준 사랑하는 가족과 이작은 결실을 함께하고자 합니다.

2003 년 1월

저자 씀

차 례

그림 및 표 차례	iii
국문요약	iv
I. 서 론	1
II. 연구 대상 및 연구 방법.....	3
1. 연구대상	3
가. 건조두개골	3
나. 정상인	3
2. 연구방법	3
가. CT 촬영과 3차원 영상 구성	3
(1) CT 촬영.....	3
(2) 기준점의 설정	4
(3) 3차원 CT 영상 재구성과 기준점 지정	6
(4) 기준 정중평면의 설정	7
나. 건조 두개골에서의 실제 거리와 3차원 CT 영상에서의 측정 거리의 정확성 및 확대율 검사	9
(1) 건조 두개골의 실측	9
(2) 건조 두개골에서의 실제 거리와 3차원 CT 영상에서의 측정 거리의 비교.....	10
다. 3차원 CT영상에서 기준점 반복 지정의 재현성 평가	11
라. 건조 두개골의 가상 정중평면에 대한 평가	11
(1) 두개 기준점과 가상 정중평면과의 거리	11
(2) 안면 기준점과 가상 정중평면과의 거리	12
(3) 가상 안면 정중평면과 가상 정중평면의 각도	12
마. 정상인에서 가상 정중평면의 평가	12

Ⅲ. 연구결과	13
1. 건조두개골에서의 실제 거리와 3차원 CT 영상에서의 측정 거리의 비교	13
2. 3차원 CT 영상에서의 계측점 반복 지정의 재현성 평가.....	14
3. 건조 두개골에서 가상 정중평면의 평가	15
4. 정상인에서 가상 정중평면의 평가	16
Ⅳ. 고 찰	18
Ⅴ. 결 론	23
참고문헌	24
영문요약	29

그림 차례

그림 1. 건조두개골과 계측점	5
그림 2. CorePLAN 프로그램상에서 재구성 된 3차원 CT 영상	6
그림 3. 계측점 표시	7
그림 4. 기준평면의 설정	9
그림 5. 두개부의 성장	19

표 차례

표 1. 건조 두개골과 3차원 CT 영상에서의 두 점 간 측정거리의 비교	13
표 2. 3차원 CT 영상에서 기준점 반복 지정의 재현성 비교	14
표 3. 건조 두개골의 가상 정중평면에서 해부학적 기준점 까지의 거리 및 가상 안면 정중평면과의 각도.....	15
표 4. 정상인의 3차원 CT 영상에서 가상 정중평면과 해부학적 기준점까지의 거리와 가상 안면 정중평면 과의 각도	17

국문요약

3차원 CT 영상을 이용한 두개악안면 분석에서의 기준평면 설정

3차원 CT 영상은 고가와 높은 방사선 피폭량 등의 단점에도 불구하고, 입체적인 형태 재현, 해부학적 구조물 간의 거리 및 각도 측정, 3차원적인 가상 수술과 얼굴 형태 예측, 수술 전, 후 영상의 중첩, 비교가 가능해지는 등 여러 장점들 때문에 점점 보편화 되는 추세이다. 따라서 3차원 CT 영상은 두개악안면 기형의 분석 및 치료 계획 수립에서 필수적인 역할을 담당하기 시작하고 있다. 하지만 아직까지 3차원 CT 영상을 이용한 분석 및 진단은 각 연구자마다 기준의 설정이 다르고, 2차원 분석에서 사용되던 기준점들이 아무 검증 없이 사용되고 있으며 표준화된 진단법이나 기준 평면 설정 방법이 마련되지 못하고 있어 임상 적용에 어려움이 있다.

본 연구에서는 건조두개골과 정상인에서 3차원 의료영상 프로그램 CorePLAN을 이용한 3차원 CT 영상을 얻고, 해부학적 기준점간의 측정 오차와 기준점 반복 지정의 오차를 확인하였고, 3차원 두개악안면 분석을 위한 가상 정중평면을 설정, 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건조 두개골과 정상인의 3차원 CT에서 만들어진 여러 가상 정중평면 중 다른 기준점과의 거리, 각도 차이가 가장 작았던 평면은 N', FC, Ba, S, cOC, Opi 등이 포함된 가상 평면이었다.
2. 이 기준 평면들 중 점 지정 오차, 다른 기준점과의 거리나 각도의 크기와 편차를 고려하면, FC-S-Ba으로 이루어진 가상 정중평면이 건조두개골에서나 정상인 모두에서 가장 뛰어난 정중평면으로 평가되었다.
3. 건조 두개골의 실제거리와 3차원 CT 영상에서의 측정거리를 비교하면 평균 오차는 1.43mm, 평균 확대율은 100.68%로 나타났다.
4. 3차원 CT 영상의 여러 두개저 기준점 중 N', FC, Opi, Ba, FS 등이 점 반복 지정 시 오차가 작아 재현성이 뛰어난 것으로 나타났다.

핵심되는 말 : 3차원 CT, 두개악안면 분석, 기준평면

3차원 CT 영상을 이용한 두개안면 분석에서의 기준평면 설정

< 지도교수 **이상휘** >

연세대학교 대학원 치의학과

김 학 진

1. 서 론

악안면 기형 환자를 진단하기 위해서는 안모 사진, 진단 석고 모형, 두부 계측 방사선 사진 등 여러 자료들이 사용되고 있다. 특히 두부 계측 방사선 사진은 1931년 Broadbent가 치아 교정을 위해 도입한 이래로 악안면 기형 진단에서 가장 중요하게 이용되고 있고 여러 진단법이 개발되었다. 그러나 3차원 두개 안면 구조를 2차원으로 투영, 영상화하는 과정에서 생기는 영상의 확대 및 왜곡, 3차원 해부 구조의 중첩에 의한 불명확성 때문에 두개 안면 형태나 크기의 정량적 평가에 부적절했다. 그 결과 안모 비대칭을 포함한 악안면 기형 환자의 진단 및 3차원적 수술 계획 수립에는 한계가 있었다 (윤, 2003).

더 정확하고 유용한 악안면 기형 진단법을 개발하기 위해 다양한 방법들이 시도되었으며, 그 중 하나가 전산화 단층 촬영술 (computed tomography, CT)이다. Hounsfield(1973)가 최초로 의료 영상 부문에 CT를 이용하였고 Herman과 Liu(1979)는 CT의 2차원 영상을 재구성해 3차원 입체 영상을 얻을 수 있었다. 또 3차원 CT는 1980년대 초반 Vannier, Marsh 등 (1983, 1984, 1985)에 의해 악안면 기형 진단에 사용되기 시작하였다.

두개 안면부 3차원 CT 영상은 여러 개의 2차원 평면 영상을 수학적 3차원 재구성 과정을 통해 실제의 두개 안면부 입체 구조와 같은 영상으로 바꾸어주는 것이다. 촬영 수가가 높고 고가의 촬영 장비와 소프트웨어가 필요하며 방사선 피폭량이 많은 단점이 있지만, 3차원 CT에서 우리는 전후, 좌우 여러 위치에서 자유롭게 두개 안면 구조를 관찰할 수 있고, 2차원의 두부 계측 방사선 사진보다 더 정확하게 3차원 길이와 각도 등을 구할 수 있다 (Matteson, 1989;

Kragsskov, 1997). 또 좌우를 각각 따로 분석할 수 있고 부위에 따른 확대율의 차이가 없어 영상의 확대나 왜곡이 적고, 영상 표면 일부를 제거해 심부 구조도 관찰할 수 있는 장점도 있다 (장, 2002). 그리고 최근에는 컴퓨터와 소프트웨어의 발달로 개인이 개인용 컴퓨터에서 직접 3차원 CT 영상을 조작, 계측할 수 있다 (Fuhrmann, 1995).

현재 두개악안면 기형을 위한 3차원 CT 영상 기술은 해부학적 구조물 간의 거리 및 각도 측정은 물론이고 3차원 가상 수술에서의 골 절단과 골절편의 이동과 고정, 가상 수술 후 얼굴 형태 예측이나 수술 전, 후 영상의 중첩, 비교가 가능한 정도로 발전하였다 (Girod, 1995; Chen, 1999; Troulis, 2002). 그러나 두부 계측 방사선 사진의 이용한 진단과는 달리 3차원 CT를 이용한 두개악안면 기형 진단에서는 체계적인 분석법이 없는 것은 물론이고, 분석에 사용되는 기준 평면도 검증되지 않고 있다.

두개악안면 기형의 3차원 진단을 위해서는 정중 평면 (mid-sagittal plane), 수평 평면 (axial plane), 관상 평면 (coronal plane)에서의 기준 설정과 그에 맞는 분석이 필요하다. 최근 일부에서 제안된 기형의 3차원 분석 과정에서는 두부 계측 방사선 사진의 2차원 분석에서 사용되던 기준평면들이 그대로 사용되고 있다 (Ono, 1992; 문, 2002; Hayashi, 2003). 현재 기준 평면 설정에는 sella, nasion, basion, 안와, 외이도, 전비극, 후비극, A point, B point, Pogonion, 이부점 등이 사용되고 있다. 이중 외이도, 안와 등의 양측성 기준점들은 원천적으로 비대칭성이 심하고, 전비극과 같은 안면골 기준점도 안면골 자체의 비대칭성 평가에는 부적절하다 (천, 1990; Pirttiniemi, 1996; Trpkova, 2003).

따라서 본 연구에서는 3차원 CT 영상을 이용한 두개악안면 기형 분석에 사용될 수 있는 신뢰성 있고 적절한 기준 평면을 찾고자 한다. 이를 위해,

- 1) 건조 두개골에서 실제거리와 3차원 CT 영상의 측정거리를 비교해 거리 측정의 정확도와 확대율을 평가하고,
- 2) 3차원 CT 영상에서 기준점 지정 시의 정확성을 평가하며,
- 3) 건조 두개골 영상에서 정중평면에 근접한 가상 기준평면들을 선별하고,
- 4) 선별된 가상 정중평면을 정상 성인의 3차원 CT에서도 유효한지 평가하려고 한다.

II. 연구 대상 및 연구 방법

1. 연구대상

가. 건조 두개골

상태가 양호하며 제1급 Angle씨 분류를 가지고 특이할 만한 안모 비대칭이 없는 4개의 건조 두개골을 대상으로 하였다. 선정된 건조 두개골의 정상적 골격 형태를 확인하기 위하여 Cranex 3+ ceph 촬영기 (Soredex co., Helsinki, Finland)를 사용하여 정모 및 측모 두부 계측 방사선사진을 10mA, 노출시간 0.5초, 63kvp 조건 하에서 촬영하였다. 측모 두부 계측 방사선 사진에서는 평균 SNA 85°, 평균 SNB 81°의 값을 가지고 있었으며, 정모 두부 계측 방사선 사진 상 이부의 중심과, 치아 정중선은 안면 중심과 일치하였고, 상악 치아와 기저골의 기울어짐도 없었다.

나. 정상인

정상적인 얼굴 형태를 보이고 안모 비대칭이 관찰되지 않으며 교합상태가 양호한 정상인 5명을 연구대상으로 하였다. 이들은 교정치료 경험이 없었으며, CT상 두개 구조의 비대칭성도 관찰되지 않았다.

2. 연구방법

가. CT 촬영과 3차원 영상 구성

(1) CT 촬영

두개골의 고정 및 촬영의 재현성을 위하여 건조 두개골의 Frankfort 수평면에 수직이 되도록 20mm 두께의 편평한 강화 스티로폼을 두개골의 후두부에 대고 두개골이 움직이지 않도록 wax로 고정하였다. 연조직 밀도를 보상하기 위하여 아크릴 상자를 제작하여 물을 채우고 그 안에 두개골을 부착한 후 물이 새지 않도록 밀봉하였다. 건조 두개골의 Frankfort 수평면이 바닥에 수직이 되도록 아크릴 상자를 정확히 촬영장치에 위치시킨 후 촬영을 시행하였다.

또 정상인의 CT 촬영은 Frankfort 수평면이 바닥에 수직이 되도록 하고 정중선을 촬영장비의 장축과 일치시켜 안와상부에서 하악골 하연까지 CT를 촬영하였다. CT촬영에는 연세대학교 치과대학병원에 설치된 Hispeed Advantage 전산화단층촬영기 (GE Medical System, Milwaukee, U.S.A.)가 사용되었다. 그리고 high-resolution soft tissue algorithm, field of view (FOV) 15cm, 200mA, 120kV, scanning time 1초, 상층두께 2mm의 촬영 조건을 사용하였고 촬영부위는 두정부로부터 하악골 하연에 이르기까지 두개골이 완전히 포함되도록 하였다. Gantry의 각도는 0도로 하고 reconstruction matrix는 512×512 pixel 로 하였다.

(2) 기준점의 설정

건조두개골과 이를 촬영한 3차원 CT 영상에서 두개저 부위의 기준점 20개와 안면 부위의 기준점 11개를 설정하였다. 두개저나 안면의 기준점들은 정중평면상에 존재하거나 대칭적으로 양측에 존재하고 정중 기준평면 설정이나 평가에 이용될 수 있는 해부학적 구조물이었다. 이 중에서 N (nasion)은 해부학적으로 전두비골 봉합의 교점이지만 3차원 CT 상에서는 나타나지 않아 정확하게 지정하기 어려웠다. 그래서 이 논문에서는 양측 안와 내연의 중점 (관상 단면) 이면서 전두비골의 가장 깊은 부위 (시상 단면)인 임의의 점 N' (modified nasion)을 대신 사용하였다. 두개저 기준점 중 중점은 c(center)를 붙여서 구별되게 표시하였다. 선정된 기준점들과 그 정의는 아래와 같다.

* 기준점

- 1) FC (foramen cecum) : 막공의 최상방점
- 2) CG (crista gali) : 계관의 최상방점
- 3) S (hypophyseal fossa, sella) : 뇌하수체와의 중심점
- 4) Ba (basion) : 후두공 전연의 중간점으로 후두골 기저부 하연 경사의 후방 끝점
- 5) Opi (opisthion) : 후두공 후연의 중간점
- 6) ANS (anterior nasal spine) : 정중면에서 골격성 전비극의 끝
- 7) OC (optic canal) : 시신경관 (양측성)
- 8) FR (foramen rotundum) : 정원공의 최상방 중심점 (양측성)

- 9) FO (foramen ovale) : 난원공의 최상방 중심점 (양측성)
- 10) FS (foramen spinosum) : 극공의 최상방 중심점 (양측성)
- 11) IAM (internal acoustic meatus) : 내이도 (양측성)
- 12) Or (orbitale) : 안와하연의 최하방점으로 좌우 상의 중간점 (양측성)
- 13) FZS (fronto-zygomatic suture) : 관골-전두골 봉합의 내측점 (양측성)
- 14) IOF (inferior orbital foramen) : 안와하공 (양측성)
- 15) N' (modified nasion) : 해부학적으로 전두비골 봉합의 교점이나, 정모에서와 내연의 중점으로 측모에서 전두비골에서 가장 깊은 부위
- 16) Mx1 (maxilla incisor) : 상악전치부 치조골 중심부
- 17) Mn1 (mandible incisor) : 하악전치부 치조골 중심부
- 18) Me (menton) : 이부의 중심
- 19) cOC (center of both optic canal) : 양측 시신경관의 중점
- 20) cFR (center of both foramen rotundum) : 양측 정원공의 중점
- 21) cFO (center of both foramen ovale) : 양측 난원공의 중점
- 22) cFS (center of both foramen spinosum) : 양측 극공의 중점
- 23) cIAM (center of both inferior orbital foramen) : 양측 내이도의 중점

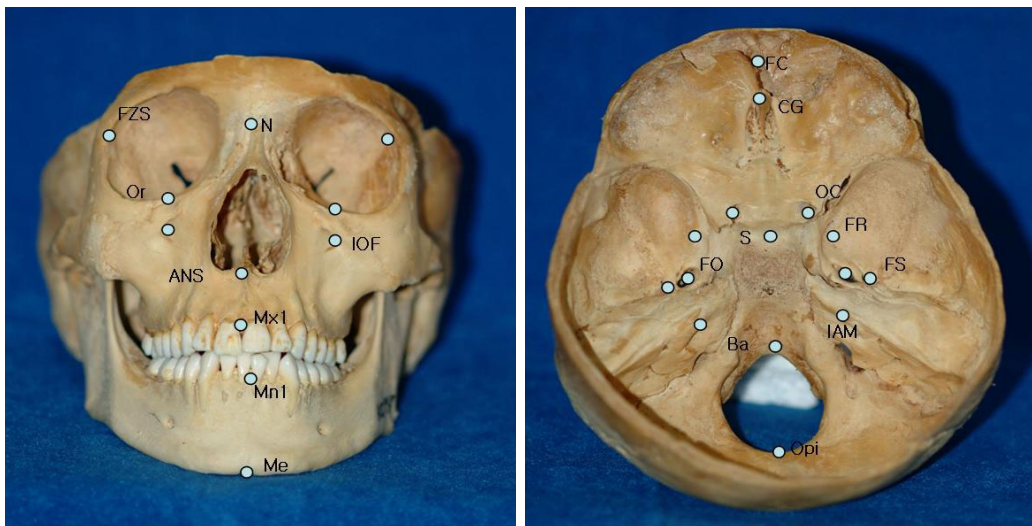


그림 1 . 건조두개골과 기준점

(3) 3차원 CT 영상 재구성과 기준점 지정

촬영된 단면 촬영 영상 정보는 DICOM 파일 형식으로 Windows® XP (Pentium® 4, CPU 1.6GHz, 256MB RAM) 사양의 개인용 컴퓨터에 저장하였다. 그리고 3차원 입체 의료영상 프로그램인 CorePLAN (Seoul C&J Inc., Seoul, Korea)을 사용하여 두개안면골의 3 차원 입체 영상을 만들었다. 또 부속 단면 영상도 수평면 (axial plane), 관상면 (coronal plane), 시상면(sagittal plane) 상에서 나타나도록 하였다 (그림 2).

기준점 지정 시에는 3차원 CT 영상을 회전시켜서 기준점이 정면으로 보이도록 하였고, 3차원 입체 영상과 부속 단면 영상을 모두 참고로 하였다. 기준점이 주변 구조물에 가려질 경우 crop 기능으로 가려진 구조물을 제거해 기준점 지정이 용이하도록 하였다 (그림 3의 a). 또 해부학적 구조물 중 도관 (canal) 이나 공 (foramen)에서의 기준점 지정은 일관적인 점 지정을 위해 구조물의 최상방, 중앙점이 지정되도록 정하였다 (그림 3의 b).

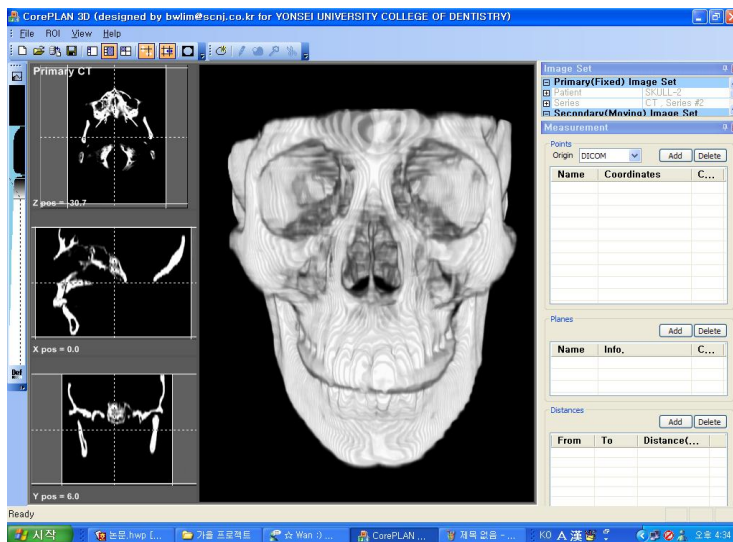


그림 2. CorePLAN 프로그램 상에서 재구성 된 3차원 CT 영상과 부속 단면 영상

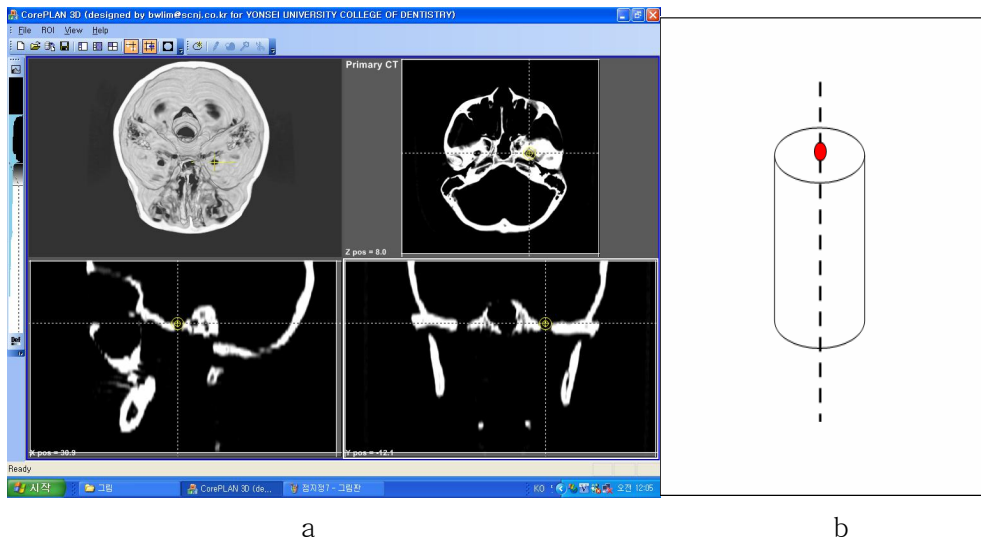


그림 3. 기준점 지정

- a. 기준점의 설정, 수평, 시상, 관상 단면 영상과 3차원 재구성 영상
- b. 관(foramen)을 기준점으로 설정할 경우 관의 최상방, 중앙부위를 설정

(4) 기준 정중평면의 설정

두개안면 분석을 위한 기준 정중평면은 두개저 상의 3개 기준점을 이용하되 전방에 위치한 한개의 기준점과 중앙과 후방에 위치한 다른 기준점 두개를 조합하는 것이 합리적이라고 가정하였다. 사용 가능한 기준점은 두개저의 구조물 중 중심선에 위치하는 중앙 구조물인 N', FC, CG, S, Ba, Opi과 대칭성인 양측성 구조물의 중점인 cOC, cFR, cFO, cFS, cIAM였다. 따라서 두개부의 전방에 위치한 기준점 N', FC, CG 중 하나와 중앙, 후방에 위치한 기준점 두개를 조합한 가상 정중평면 51개를 아래와 같이 가정하고 정중성을 검증하기로 하였다 (그림 4).

*** 가상 정중평면**

Plane 1 : N'-S-Ba	Plane 27 : CG-cOC-Ba
Plane 2 : N'-S-Opi	Plane 28 : CG-cOC-Opi
Plane 3 : N'-cOC-Ba	Plane 29 : CG-cFR-Ba
Plane 4 : N'-cOC-Opi	Plane 30 : CG-cFR-Opi
Plane 5 : N'-cFR-Ba	Plane 31 : CG-cFO-Ba
Plane 6 : N'-cFR-Opi	Plane 32 : CG-cFO-Opi
Plane 7 : N'-cFO-Ba	Plane 33 : CG-cFS-Ba
Plane 8 : N'-cFO-Opi	Plane 34 : CG-cFS-Opi
Plane 9 : N'-cFS-Ba	Plane 35 : CG-cIAM-Ba
Plane 10 : N'-cFS-Opi	Plane 36 : CG-cIAM-Opi
Plane 11 : N'-cIAM-Ba	Plane 37 : N'-S-cOC
Plane 12 : N'-cIAM-Opi	Plane 38 : N'-S-cFR
Plane 13 : FC-S-Ba	Plane 39 : N'-S-cFO
Plane 14 : FC-S-Opi	Plane 40 : N'-S-cFS
Plane 15 : FC-cOC-Ba	Plane 41 : N'-S-cIAM
Plane 16 : FC-cOC-Opi	Plane 42 : FC-S-cOC
Plane 17 : FC-cFR-Ba	Plane 43 : FC-S-cFR
Plane 18 : FC-cFR-Opi	Plane 44 : FC-S-cFO
Plane 19 : FC-cFO-Ba	Plane 45 : FC-S-cFS
Plane 20 : FC-cFO-Opi	Plane 46 : FC-S-cIAM
Plane 21 : FC-cFS-Ba	Plane 47 : CG-S-cOC
Plane 22 : FC-cFS-Opi	Plane 48 : CG-S-cFR
Plane 23 : FC-cIAM-Ba	Plane 49 : CG-S-cFO
Plane 24 : FC-cIAM-Opi	Plane 50 : CG-S-cFS
Plane 25 : CG-S-Ba	Plane 51 : CG-S-cIAM
Plane 26 : CG-S-Opi	

그림 4. 기준평면의 설정

나. 건조 두개골에서의 실제 거리와 3차원 CT 영상에서의 측정 거리의 정확성 및 확대율 검사

(1) 건조두개골의 실측

얻어진 3차원 입체 영상의 확대율을 확인하기 위하여 N'으로부터 각 기준점까지의 거리를 건조 두개골에서 측정하였다. 이를 위해 이미 언급된 건조두개골 안면 부위의 기준점 8개와 두개저 부위의 기준점 14개에 대해 측정하였다. 각 측정 항목은 아래에 기술되어 있고, Digital vernier caliper (model 500-181, Mitsutoyo, Japan)를 이용하여 각 측정항목을 0.01mm 까지 측정하였다. 접근이 어려운 항목은 craniometer (sprading with pointed end, No. 107, GPM co., Swiss)를 이용하였고, 한명의 술자가 5번씩 2주 간격으로 2회에 걸쳐 측정하여 오차를 줄이도록 하였다.

*** 계측항목**

1) N'-FC	16) N'-FS (Lt)
2) N'-S	17) FS-FS
3) N'-Ba	18) N'-IAM (Rt)
4) N'-Opi	19) N'-IAM (Lt)
5) N'-ANS	20) IAM-IAM
6) N'-OC (Rt)*	21) N'-OR (Rt)
7) N'-OC (Lt)**	22) N'-OR (Lt)
8) OC-OC	23) OR-OR
9) N'-FR (Rt)	24) N'-FZS (Rt)
10) N'-FR (Lt)	25) N'-FZS (Lt)
11) FR-FR	26) FZS-FZS
12) N'-FO (Rt)	27) N'-IOF (Rt)
13) N'-FO (Lt)	28) N'-IOF (Lt)
14) FO-FO	29) IOF-IOF
15) N'-FS (Rt)	

* Rt(right) : 양측성 구조물 중 우측의 계측항목

** Lt(left) : 양측성 구조물 중 좌측의 계측항목

(2) 건조 두개골에서의 실제 거리와 3차원 CT 영상에서의 측정 거리의 비교

(1)에서 측정한 건조 두개골에서 기준점의 실제거리와 CorePLAN 프로그램에서 재구성한 3차원 CT 영상에서의 측정거리를 비교하기 위해 두 계측치 사이의 오차와 확대율을 확인하였다. 이를 위해서 건조 두개골의 3차원 CT 영상에서 같은 계측항목을 5회씩 2차례, 총 40회 측정하였다.

그리고 건조 두개골과 3차원 CT 영상의 거리 오차 (e)는 3차원 CT 영상에서의 평균 측정거리와 건조골에서의 실제거리 평균의 차이로 계산하였다. 또 확대율 (E)은 3차원 영상에서의 평균 측정거리를 건조두개골에서의 실제거리로 나누어서 계산하였다.

- * 오차 (e) = $D_X - D_R$
- * 확대율 (E) = $D_X / D_R * 100$

D_X ; 3차원 CT 영상에서의 평균 측정거리

D_R ; 건조골에서의 실제거리 평균

다. 3차원 CT영상에서 기준점 지정의 재현성 평가

두개안면 기준 평면 설정을 위한 두개저 기준점 중 점 지정이 쉽고 반복 지정의 오류가 작은 점들을 확인하기 위해 기준점 반복 지정 시의 오차를 확인하였다. 이를 위하여 두개저 기준점에 대하여 3차원 영상의 기준점을 지정하면 소프트웨어 상에서 그 점의 3차원 좌표값 x, y, z가 표시되도록 하였다. 3차원 좌표계의 기준은 DICOM 파일의 중심으로 설정하여 측정하였다.

그리고 건조두개골의 3차원 CT 영상에서 두개저 기준점 16개를 한명의 술자가 5번씩 2주 간격으로 2회, 총 40회 측정하였고 좌표값의 차이를 계산해 Dahlberg's formula로 오차를 나타냈다. 기준점 반복 지정시 각 좌표상 오차와 3차원 거리 오차는 아래와 같다.

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

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

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

$$3\text{차원좌표 오차 } e_{3D} = \sqrt{\Sigma[(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2 + (z_n - z_{n-1})^2] / 2N}$$

라. 건조 두개골의 가상 정중평면에 대한 평가

(1) 두개 기준점과 가상 정중평면과의 거리

가상 정중평면이 두개저의 다른 해부학적 기준점과 어떤 위치 관계를 갖는지 분석하여 어느 가상 정중평면이 이상적인 두개안면부 정중평면에 가까운지를

확인하기 위해 두개저의 여러 해부학적 기준점과 각 가상 정중평면과의 거리를 확인하였다. 이미 설정된 51개의 가상 정중평면에 대하여 두개저 기준점 N', FC, CG, S, Ba, Opi, cOC, cFR, cFO, cFS, cIAM과의 거리를 각 건조두개골의 3차원 CT 영상에서 측정하고 이들의 평균거리를 구하였다.

$$* \text{평균거리 } d = \Sigma D / N$$

D ; 가상 정중평면에서 각 기준점까지의 거리

N ; 기준점의 수 (11개)

(2) 안면 기준점과 가상 정중평면과의 거리

가정된 정중평면이 두개안면분석 특히 안면부 분석에 사용 될 수 있는지 확인하기 위하여, N' (modified nasion), ANS (anterior nasal spine), Mx1 (maxilla incisor), Mn1 (mandibular incisor), Me(menton)등의 안면의 정중면에 위치한 5개의 기준점에서 가상 정중평면까지의 거리를 계측하였다. 이 기준점은 정모 두부계측 방사선사진에서 안면 및 두개부 정중면에 존재하는 것이 확인된 점들이었다. 그리고 **라.(1)**에서와 마찬가지로 방법으로 평균거리를 계산하여 각 가상 평면과 안면 기준점들과의 거리를 확인하고 비교하였다.

(3) 가상 안면 정중평면과 가상 정중평면의 각도

건조두개골이 좌우 대칭의 형태를 가진다고 가정하였기 때문에, 얼굴 표면쪽의 정중면에 위치하는 기준점인 N', ANS, Mx1, Mn1, Me과 두개저 후방 기준점인 Ba을 이용하여 가상의 안면 정중평면을 각각 설정하였다. 그리고 제시된 51개의 가상정중평면과 이루는 각도를 각각 소프트웨어 상에서 계산되도록 하였다.

마. 정상인에서 가상 정중평면의 평가

이상에서 확인한 가상 정중평면이 정상 두개안면 형태를 가진 정상인에서 어떻게 나타나는지 확인하기 위하여 건조 두개골을 이용한 **라.**에서와 같은 방법으로 두개저 및 안면부 기준점과 가상 정중평면과의 거리, 가상안면 정중평면과 가상 정중평면의 각도를 위에서와 같은 방법으로 구하였다.

III. 연구 결과

1. 건조 두개골에서의 실제 거리와 3차원 CT 영상에서의 측정 거리의 비교.

건조 두개골에서의 실제거리와 3차원 CT 영상에서의 측정치 간의 평균 오차는 1.43mm였다. 이중 2.0mm 이상의 큰 오차를 나타낸 항목들은 N'-FR, N'-IAM, IAM-IAM, OR-OR, N'-FZS, FZS-FZS, N'-IOF였다. 한편 1.0mm 이하의 오차를 나타낸 항목은 N'-FC, N'-Opi, N'-ANS, N'-OC, OC-OC, N'-FO, FO-FO, N'-FS, FS-FS, N'-OR, IOF-IOF였다 (표 1).

또 건조두개골의 실제거리에 대한 3 차원 CT 영상 측정거리의 확대율을 계산하였을 때 N'-FC, N'-FR, OR-OR, N'-IOF의 계측 항목에 대해서는 103.5 ~ 106.6%의 확대율을 보였다. 그리고 FR-FR, IAM-IAM, N'-FZS, FZS-FZS 에서는 97.1 ~ 94.0%의 거리비를 보여 오히려 축소된 것으로 나타났으며 전체적으로는 평균 100.68%의 확대율을 보였다 (표 1).

표 1. 건조 두개골과 3차원 CT 영상에서의 두 점 간 측정 거리의 비교.
(측정횟수, N=40)

측정거리	오차(mm)	확대율(%)	측정거리	오차(mm)	확대율(%)
N'-FC	0.28	105.19	N'-FS (Lt)	1.02	101.31
N'-S	1.54	102.46	FS-FS	0.41	100.71
N'-Ba	1.65	101.70	N'-IAM (Rt)	1.19	101.29
N'-Opi	0.68	100.51	N'-IAM (Lt)	2.24	102.51
N'-ANS	0.66	101.34	IAM-IAM	2.31	95.66
N'-OC (Rt)	0.35	100.82	N'-OR (Rt)	0.55	101.67
N'-OC (Lt)	0.21	100.49	N'-OR (Lt)	0.55	98.59
OC-OC	0.04	100.05	OR-OR	2.73	105.50
N'-FR (Rt)	3.08	105.34	N'-FZS (Rt)	2.50	94.79
N'-FR (Lt)	2.14	103.59	N'-FZS (Lt)	2.81	94.02
FR-FR	1.19	97.12	FZS-FZS	5.15	94.35
N'-FO (Rt)	0.49	100.67	N'-IOF (Rt)	2.91	106.60
N'-FO (Lt)	0.38	100.52	N'-IOF (Lt)	2.34	105.33
FO-FO	0.65	98.76	IOF-IOF	0.98	98.08
N'-FS (Rt)	0.68	100.85			
평균				1.43	100.68

2. 3차원 CT 영상에서의 기준점 반복 지정의 재현성 평가

각 두개저 기준점을 반복적으로 지정했을 때 3차원 좌표상의 평균오차는 1.94mm였고 OC와 FR이 비교적 큰 오차를 보였다. 세 좌표계 중에서는 Y 좌표 값의 측정오차가 0.64mm로 제일 작았지만 X 좌표에서는 1.15mm, Z 좌표에서는 1.27mm로 오차가 컸다. 좌우편차를 나타내는 X 좌표에서는 FR (좌측)과 IAM (우측), S, Ba, Opi, OC, FO, FS (좌측)에서 1.0mm 이상의 큰 오차를 보였다. 전후방간의 위치를 나타내는 Y 좌표에서는 FO (좌측)에서만 1.0mm 이상의 측정오차를 보였고, 전반적으로 다른 좌표계보다 더 오차가 작았다. 수직적인 관계를 나타내는 Z 좌표에서는 CG와 OC, FR에서 1mm 이상의 오차를 보였는데, 특히 OC와 FR은 각각 2mm와 3mm의 비교적 큰 오차를 보여, 3차원 및 X 좌표계에서 동일한 결과를 보였다. 반면 3차원 CT 상에서 구조물의 관찰이 용이하고 크기가 작은 기준점인 N', FC, Ba 등에서는 측정 오차가 가장 작았다. (표 2).

표 2. 3차원 CT 영상에서 기준점 반복 지정의 재현성 비교.

기준점	N	측정오차(mm)			
		X	Y	Z	3D
N'	40	0.28	0.46	0.96	1.10
FC	40	0.34	0.61	0.86	1.11
CG	40	0.7	0.60	1.59	1.84
S	40	1.21	0.83	0.79	1.67
Ba	40	1.07	0.33	0.50	1.23
Opi	40	1.30	0.33	0.74	1.53
OC (Rt)	40	1.38	0.95	2.07	2.67
OC (Lt)	40	1.40	0.97	2.00	2.63
FR (Rt)	40	0.57	0.81	3.15	3.30
FR (Lt)	40	2.28	0.70	3.20	3.99
FO (Rt)	40	1.31	0.42	0.91	1.65
FO (Lt)	40	1.29	1.25	0.6	1.90
FS (Rt)	40	0.67	0.36	0.76	1.08
FS (Lt)	40	1.39	0.5	0.63	1.61
IAM (Rt)	40	1.83	0.46	0.78	2.04
IAM (Lt)	40	1.33	0.67	0.83	1.71
평균		1.15	0.64	1.27	1.94

3. 건조두개골에서 가상 정중평면의 평가

총 51개의 가상 정중평면과 두개저 및 안면부의 여러 기준점 사이의 거리, 가상 안면 정중평면과의 각도를 측정하였다. 가상 정중평면과 두개저 기준점 사이의 거리는 $0.17 \pm 0.15\text{mm}$ (N'-cOC-Opi) ~ $1.76 \pm 1.69\text{mm}$ (N'-S-cOC)의 다양한 차이를 보였다. 그 중 N'-cOC-Opi, N'-S-Opi, FC-S-Opi, FC-cOC-Opi, FC-S-Ba, FC-cOC-Ba, N'-cOC-Ba, N'-S-Ba으로 구성된 가상 정중평면은 기준점들로부터 가장 짧은 거리에 위치하였다.

또 가상 정중평면과 안면부 기준점 간의 거리는 $0.49 \pm 0.16\text{mm}$ (N'-S-Ba) ~ $6.66 \pm 6.78\text{mm}$ (N'-S-cOC)의 훨씬 큰 차이를 보였는데, 이중에서는 N'-S-Ba, N'-S-Opi, FC-S-Ba, N'-cOC-Ba, FC-cOC-Opi, N'-cOC-Opi의 가상 정중평면들이 기준점에서 평균 0.8mm 이내로 가깝게 위치하였지만, N'-S-cOC, FC-S-cOC, CG-S-cOC 등에서는 5mm 이상의 큰 차이를 보였다.

표 3. 건조두개골의 가상 정중평면에서 해부학적 기준점까지의 거리 및 가상 안면 정중평면과의 각도 중 일부.

가상 정중평면	N	해부학적 기준점까지의 거리		가상 안면 정중평면과의 각도(°)
		두개저(mm)	안면골(mm)	
N'-S-Ba	40	0.29 ± 0.20	0.49 ± 0.16	4.52 ± 6.35
N'-S-Opi	40	0.18 ± 0.15	0.56 ± 0.19	4.01 ± 1.87
N'-cOC-Ba	40	0.28 ± 0.22	0.68 ± 0.76	1.00 ± 13.98
N'-cOC-Opi	40	0.17 ± 0.15	0.76 ± 0.77	1.75 ± 5.30
FC-S-Ba	40	0.26 ± 0.18	0.63 ± 0.17	0.93 ± 1.91
FC-S-Opi	40	0.19 ± 0.20	0.76 ± 0.34	3.96 ± 3.07
FC-cOC-Ba	40	0.26 ± 0.20	1.06 ± 0.92	1.57 ± 17.06
FC-cOC-Opi	40	0.20 ± 0.19	1.12 ± 1.07	1.62 ± 5.18
CG-S-Ba	40	0.36 ± 0.25	1.06 ± 0.79	2.54 ± 1.61
N'-S-cFS	40	0.38 ± 0.22	0.90 ± 0.46	1.91 ± 6.69
FC-S-cFS	40	0.37 ± 0.23	1.04 ± 0.39	1.66 ± 6.96
CG-S-cFS	40	0.46 ± 0.29	1.21 ± 0.51	1.78 ± 7.25

가상 안면 정중평면과 가상 정중평면 사이의 각도 차이는 $0.93 \pm 1.91^\circ$ (FC-S-Ba) ~ $66.99 \pm 30.62^\circ$ (CG-cFO-Ba)로 더 다양하게 나타났다. FC-S-Ba, FC-S-cFS, CG-S-cFS, N'-S-Ba, N'-S-cFS, CG-S-Ba으로 구성된 가상 정중평면이 2° 이내의 작은 각도차를 보였지만, N'-cFO-Opi, N'-cFS-Opi, CG-cFO-Ba는 50° 이상의 큰 오차를 보였다. 각 결과 중 유의수준 0.01의 Turkey's studentized range test (ANOVA)에서 공통적으로 작은 오차값을 보인 항목 12개를 표 3에 나타냈다.

4. 정상인에서 가상 정중평면의 평가

건조 두개골에서 작은 오차값을 보인 12개의 기준평면들에 대하여 정상인에서 같은 분석을 시행한 결과가 아래 표 4에 나타나 있다. 가상 정중평면과 두 개저 기준점 사이의 거리는 $0.06 \pm 0.06\text{mm}$ (N'-cOC-Opi) ~ $0.96 \pm 0.86\text{mm}$ (N'-S-Ba)의 차이를 보여 건조두개골에서보다 더 정확했다. 특히 N'-cOC-Opi, N'-cOC-Ba, FC-cOC-Ba, FC-cOC-Opi으로 구성된 평면이 기준점들에서 가장 가깝게 위치하였다.

또 가상 정중평면과 안면 기준점과의 거리는 $0.55 \pm 0.65\text{mm}$ (N'-cOC-Ba) ~ $3.14 \pm 2.74\text{mm}$ (N'-S-cFS)의 차이를 보였고, FC-cOC-Ba, N'-cOC-Ba, N'-cOC-Opi, FC-S-Ba, N'-S-Ba으로 구성된 가상 정중평면에서는 0.8mm 이내로 짧은 오차 거리를 보였다.

가상 안면 정중평면과 가상 정중평면이 이루는 각도는 $1.37 \pm 0.41^\circ$ (FC-S-Ba) ~ $22.81 \pm 13.83^\circ$ (FC-cOC-Opi)로 심한 차이를 보였다. FC-S-Ba, N'-S-Ba으로 구성된 가상 정중평면에서 2° 이내의 각도 오차를 보여 정확했지만, N'-cOC-Opi, FC-cOC-Opi, FC-cOC-Ba가 10° 이상의 큰 차이를 나타냈다 (표 4).

표 4. 정상인의 3차원 CT 영상에서 가상 정중평면과 해부학적 기준점 사이의 거리와 가상 안면 정중평면과의 각도.

가상 정중평면	N	해부학적 기준점까지의 거리		가상 안면 정중평면과의 각도(°)
		두개저(mm)	안면골(mm)	
N'-S-Ba	5	0.96 ± 0.86	0.80 ± 0.67	1.77 ± 1.13
N'-S-Opi	5	0.96 ± 0.82	1.50 ± 0.80	2.62 ± 2.01
N'-cOC-Ba	5	0.08 ± 0.11	0.55 ± 0.65	8.56 ± 3.50
N'-cOC-Opi	5	0.06 ± 0.06	0.57 ± 0.66	11.83 ± 4.59
FC-S-Ba	5	0.68 ± 0.66	0.63 ± 0.44	1.37 ± 0.41
FC-S-Opi	5	0.55 ± 0.37	2.03 ± 0.94	3.53 ± 0.97
FC-cOC-Ba	5	0.10 ± 0.14	0.48 ± 0.22	10.36 ± 5.63
FC-cOC-Opi	5	0.17 ± 0.27	1.20 ± 1.55	22.81 ± 13.83
CG-S-Ba	5	0.90 ± 0.86	1.18 ± 0.64	2.11 ± 1.5
N'-S-cFS	5	0.94 ± 0.57	3.14 ± 2.74	5.15 ± 4.05
FC-S-cFS	5	0.59 ± 0.36	3.07 ± 2.12	5.78 ± 4.44
CG-S-cFS	5	0.54 ± 0.33	3.04 ± 1.59	5.99 ± 4.60

IV. 고찰

두개악안면 기형의 3차원 진단을 위해서는 기준이 되는 정중 평면 (mid-sagittal plane), 수평 평면 (axial plane), 관상 평면 (coronal plane)을 정하고 악안면 부위의 위치, 크기를 분석해야 한다. 이 중 정중 평면은 안면 비대칭을 포함한 두개악안면 분석에 필수적이며, 3차원 CT를 이용한 기형 진단에서는 2차원적 두부 계측 방사선 사진에서 이용되는 기준점들이 대부분 그대로 사용되고 있다.

2차원 분석인 정모 두부 계측 방사선 사진 분석에서는 정중 평면에 해당되는 정중선을 설정하기 위해 정중 평면에 존재하는 비중격, 전비극, 계관, 그리고 양측성으로 존재하는 안와, 관골궁, 외이도 등의 기준점을 이용하여 정중선을 설정한다 (천, 1990; 이, 1991). 또 추가적인 안면 대칭성 평가를 위해서 이하두정 방사선 사진 분석이 함께 사용되기도 하는데, 여기서는 두개저의 극공 (foramen spinosum, FS)을 이용하기도 한다 (이, 1982; 박, 1994).

3차원 CT를 이용한 두개악안면 분석에서도 안와, 전비극, 외이도, 계관 등의 기준점이 sella, nasion, basion 등과 함께 기준 정중평면을 정하는데 사용되고 있다 (Ono, 1992; 문, 2002; Hayashi, 2003; Yoo, 2003). 그 외 두개저의 접형골도 다른 부위에 비해 대칭적 성장 패턴을 보여 기준 설정에 유리하다고 하였다. (Kim, 2003) 그러나 정중 평면에 존재하는 것으로 믿고 있는 nasion, 비중격, 전비극이나 양측에 대칭적으로 존재한다고 생각하는 안와, 관골궁, 외이도도 안면골 자체의 비대칭이나 두개저 형태에 크게 영향받기 때문에 (천, 1990; Pirttiniemi, 1996; Trpkova, 2003) 3차원 분석에서 믿고 사용하기는 어렵다. 또 이런 기준점으로 정확하고 안정적인 기준 정중평면을 정할 수 있는가는 지금까지 증명된 적이 없었다.

두개저는 안면부에 비해 초기 발생 단계에서 빠르게 골화가 진행된 후 성장이 안정되는 구조물이다. 두개저는 태아기 2개월부터 골화가 시작되며, 생후 약 2세가 되었을 때 대부분의 골화가 끝나 성인 시기까지 안정적인 상태를 유지한다 (Ridgway, 2004). 또 Enlow (1968)는 초기 두개저 성장이 전두-접형봉합 (spheno-frontal suture)에서의 전, 후방 성장과 두개골에서의 골 흡수 침착을 통해 중심에서 확장 되는 형태를 가지며 성장하고, 후기에는 접형-후두연골결합 (spheno-occipital synchondrosis)이 전-후방 성장을 주도하지만 그 양은 적어 다른 두개 안면부에 비해 비교적 안정적이라고 하였다 (그림 5). Moss와 Salenti(1971)도 두개저가 두개안면부 성장 시 외력에 영향을 받지 않

는 부위라고 하여 두개저부의 안정성을 확인하였다. 따라서 Plagiocephaly (Captier, 2003)나 Scoliosis (Iannetti, 2004)와 같은 두개악안면 구조가 두개저의 비대칭에도 영향을 줄 수 있지만, 두개저는 안모 비대칭이 주로 나타나고 두개저 성장에 영향을 받는 안면골에 비해 두개안면 기준 평면 설정에 유리한 구조물이라고 생각된다 (Kim, 2003; 윤, 2003).

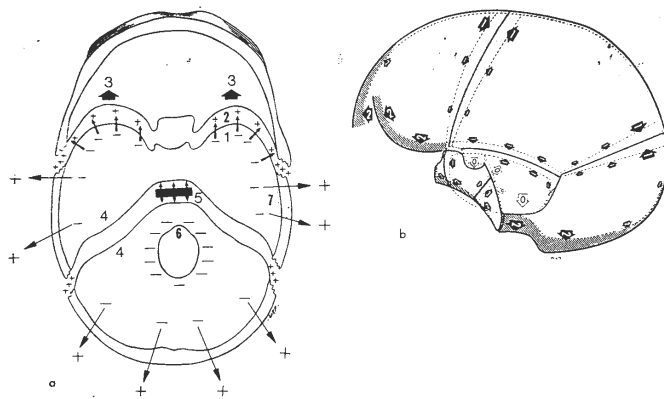


그림 5. 두개부의 성장 (Enlow, The Human Face. 1968)

이런 두개저는 2차원 두부 계측 방사선 사진 분석에서 해부학적 구조물들이 중첩되어 정확한 기준점 선정이 어렵고, 회전이나 확대에 의한 왜곡이 심해 활용되지 못했다 (박, 1994) 하지만 3차원 CT 영상에서는 다른 구조물들과 중첩되지 않고 내부 구조까지 관찰할 수 있어 기준 평면 설정에 유리할 것으로 예상하였다.

두개저에서 이용할 수 있는 기준점에는 막공 (foramen cecum, FC), 계관 (crista galli, CG), sella(S), basion(Ba), opisthion(Opi) 등이 있다. FC는 frontal crest의 small notch로 끝나는 부분이 사골 (ethmoid bone)과 연결되며 이루어진 것으로 양 외측에는 전두동이 존재한다. 이곳으로는 비강의 천정부에서 superior sagittal sinus로 가는 emissary vein이 통과한다. 또 CG는 사골의 상부판을 형성하고, 생후 1년부터 골화가 되며, falx cerebri가 부착되는 곳이다. 한편 S는 태아기 6주부터 hypophyseal cartilage가 융합되어 발생하고, 뇌

하수체가 위치하면서 두개저의 중심을 이루는 구조물이다. Ba와 Opi은 각각 대후두공의 전방 중심과 후방 중심에 해당하고, 이중 Opi은 후두골부에 근접해 뇌두개(neurocranium)의 성장에 영향을 많이 받는 부위이다.

두개저의 양측성 기준점에는 시신경과 안와동맥이 지나가는 시신경관 (optic canal, OC), 삼차신경의 상악분지가 지나가는 정원공 (foramen rotundum, FR), 하악분지가 지나가는 난원공 (foramen ovale, FO), 중뇌막동맥이 통과하는 극공 (foramen spinosum, FS), 안면신경과 내이신경이 통과하는 내이도(internal acoustic meatus, IAM) 등이 있다.

건조두개골의 실제거리와 CorePLAN 프로그램을 이용하여 구성한 3차원 CT 영상에서의 측정거리를 비교했을 때 평균오차는 1.43mm, 평균 확대율은 100.68%였다. 이것은 Kitaura(2000)의 103% 확대율이나 Cavalcanti(1999)에서의 2mm 이내의 오차와 비슷한 수준이다. 따라서 3차원 CT를 이용한 길이 측정은 1.5mm 이내의 정확도를 가져 길이 측정에 이용될 수 있을 것으로 판단할 수 있겠다. 더구나 Kragsskov(1997)는 금속 표시자 (metallic marker) 없이도 3차원 CT 영상의 계측치가 두부 계측 방사선 사진에서보다 더 정확하다고 하여 그 신뢰성을 확인하였다.

그러나 일부 기준점 FR, IAM, IOF, OR, FZS에서는 계측치의 오차가 2mm 이상으로 나왔는데 marker의 부재가 영향을 주었을 가능성도 있지만, 해부 구조물의 3차원 영상 재구성이 나쁘거나 형태적으로 구조물의 관찰이 용이하지 않았을 가능성이 있었던 것으로 생각된다. 또 계측 오차의 크기는 측정 거리와는 무관한 것으로 나타나, 오차 발생이 영상의 확대보다는 기준점 지정의 용이성 등에 더 영향 받는 것으로 생각되었다.

두개저의 각 기준점을 3차원 CT 영상에서 반복적으로 지정했을 때의 오차를 평가하면 3차원 좌표 상에서 평균 1.94mm의 차이를 보였다. Y 좌표계에서의 점 지정 오차는 0.64mm로 제일 작았고, X 좌표계에서는 1.15mm, Z 좌표계에서는 1.27mm의 평균 오차를 나타냈다. 수직 거리의 차이를 표시하는 Z 좌표계에서 가장 큰 오차를 보였고, 특히 OC와 FR은 각각 2mm와 3mm의 오차를 보였다. 반면 구조물의 관찰이 용이했던 N'이나 공 (foramen)의 크기가 작은 FC, FS등에서 측정 오차가 작았다. 따라서 기준점 지정 시 수직 방향으로의 오차가 가장 크게 생길 수 있고, CT 영상에서의 영상 재구성이 불분명하여 구조물의 관찰이 어려웠던 영향으로 생각된다.

또 좌, 우 편차를 나타내는 X 좌표계에서는 FR (좌측), IAM (우측), S, Ba,

Opi, OC, FO, FS (좌측)에서 오차가 컸다. 한편 전후방간의 위치를 나타내는 Y 좌표계에서는 FO (좌측)에서만 1.0mm 이상의 측정오차를 보였고 전반적으로는 차이가 작아 가장 정확한 점 지정 재현성을 보였다. 이 점들 중에서 Ba, Opi은 수평단면에 위치하는 기준점들로, 수평단면 상 곡면의 점 지정이 쉽지 않음을 보여 준다. 이러한 오차의 발생은 곡면이나 넓은 3차원 입체 구조에서 기준점을 지정하는 것이 어렵기 때문으로 생각된다 (Hajeer, 2002). 또 William 와 Richtsmeier(2003)의 연구에서는 얼굴 표면의 기준점 중 58%는 1mm 이내, 91%는 2mm 이내, 그리고 98%는 3mm 이내의 재현 오차를 보인다고 하여 이번 연구 결과와 비슷하였고 두개저의 기준점들도 안면부 기준점들처럼 사용될 수 있음을 확인하였다.

두개부 기준점에서 각 가상 정중평면까지의 거리를 계산하면 0.17에서 1.76mm까지 차이를 보였고 51개 가상 정중평면 중에서 N'-cOC-Opi, N'-S-Opi, FC-S-Opi, FC-cOC-Opi, FC-S-Ba, FC-cOC-Ba, N'-cOC-Ba, N'-S-Ba으로 구성된 평면들이 0.3mm 이내의 가장 가까운 평균거리를 보였다. 이들 평면에는 공통적으로 전두개저의 FC, N', 중두개저의 cOC, 후두개저의 Ba, Opi 등이 포함되어 있어, 이들이 기준 정중평면 구성에 유리한 점들로 생각할 수 있다.

또 안면골의 기준점과 가상 정중평면 사이의 거리를 계산하면 N'-S-Ba, N'-S-Opi, FC-S-Ba, N'-cOC-Ba, FC-cOC-Opi, N'-cOC-Opi으로 구성된 가상 정중평면이 작은 평균 거리를 보였고 0.8mm 이내였다. 이들 평면은 주로 전두개저의 N', 중두개저의 S, cOC, 후두개저의 Ba, Opi 등으로 구성되어 있었다.

가상 안면정중평면과 가상 정중평면 사이의 각도 차이는 FC-S-Ba, FC-S-cFS, CG-S-cFS, N'-S-Ba, N'-S-cFS, CG-S-Ba, N'-cOC-Ba으로 구성된 가상 정중평면에서 2° 이하를 보였고, 특히 FC-S-Ba은 0.93°의 작은 각도차를 보였다. 이들 평면에서는 공통적으로 전두개저의 N', FC, CG, 중두개저의 S, 후두개저의 Ba, cFS 등으로 구성되어 있었다.

이러한 결과를 종합적으로 평가해 보면 기준 정중평면의 설정에 사용된 여러 기준점 중에서는 N', FC, Ba, S, cOC, Opi 등이 가장 빈번하게 기준 평면의 구성 요소가 되었다. 이들 중 기준점 지정의 재현성이 떨어지는 cOC 보다는 다른 기준점들이 더 적당한 기준점으로 생각되었다. 그리고 이들로 이루어진 가상 정중평면 중 표준편차가 특히 컸던 N'-cOC-Ba와 기준점 지정의 재현성

이 떨어지는 cOC를 포함하는 N'-cOC-Opi를 제외하면 FC-S-Ba이 가장 안정적인 가상 정중평면에 해당되었다.

위의 분석 결과를 이용해 도출된 기준 정중평면을 정상인의 두개악안면 3차원 영상 분석에 적용시켜 보면, FC-S-Ba의 경우 두개부 기준점에서 평면까지의 거리가 $0.68 \pm 0.66\text{mm}$, 안면골의 기준점과의 거리 $0.63 \pm 0.44\text{mm}$, 가상 안면정중평면과 가상 정중평면 사이의 각도는 $1.37 \pm 0.41^\circ$ 로 나타나 다른 평면들에 비해 월등하게 정확한 정중평면임을 나타냈다. 기준점 지정의 재현성이 떨어지는 cOC를 포함했던 N'-cOC-Opi는 0.06mm , 0.57mm , 11.83° , 그리고 N'-cOC-Ba는 0.08mm , 0.55mm , 8.56° 였다. 그 외에 N'-S-Ba도 비교적 정확한 정중평면에 해당되는 것으로 나타나기도 했는데, 그 차이는 0.96mm , 0.80mm , 1.77° 였었다.

이런 결과들은 기준점 지정이 용이하고, 점 지정의 오차가 적으면서 두개저의 전, 중, 후방에 위치하는 3개의 기준점인 FC, S, Ba으로 구성된 정중평면 FC-S-Ba이 두개 건조골 뿐 아니라 정상인에서도 가장 뛰어난 정중평면이 될 수 있다는 것을 보여준다. 앞으로 이용될 3차원 CT 영상의 두개악안면 분석에서 이 FC-S-Ba 평면은 기준 정중평면으로 사용될 수 있을 것이다. 더하여 이 평면을 이용한 악안면 비대칭 환자의 임상적 적용에 대한 유용성 검증이나, 3차원 분석을 위한 기준 수평평면의 설정에 대한 연구가 앞으로 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 건조두개골과 정상인에서 3차원 의료영상 프로그램 CorePLAN을 이용한 3차원 CT 영상을 얻고, 해부학적 기준점간의 측정 오차와 기준점 반복 지정의 오차를 확인하였고, 3차원 두개악안면 분석을 위한 가상 정중평면을 설정, 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건조두개골과 정상인의 3차원 CT에서 만들어진 여러 가상 정중평면 중 다른 기준점과의 거리, 각도 차이가 가장 작았던 평면은 N', FC, Ba, S, cOC, Opi 등이 포함된 가상 정중평면이었다.
2. 이들 기준점들 중 점 지정 오차, 다른 기준점과의 거리나 각도의 크기와 편차를 고려하면, FC-S-Ba으로 이루어진 가상 정중평면이 건조두개골에서나 정상인 모두에서 가장 뛰어난 정중평면으로 평가되었다.
3. 건조 두개골의 실제거리와 3차원 CT 영상에서의 측정거리를 비교하면 평균 오차는 1.43mm, 평균 확대율 100.68%로 나타났다.
4. 3차원 CT 영상의 여러 두개저 기준점 중 N', FC, Opi, Ba, FS 등이 점 반복 지정 시 오차가 작아 재현성이 뛰어난 것으로 나타났다..

참고문헌

1. Captier G, Leboucq N, Bigorre M, Canovas F, Bonnel F, Bonnafé A, Montoya P : Plagiocephaly: morphometry of skull base asymmetry. Surg Radiol Anat, 25: 226-233, 2003.
2. Carstens MH : Development of the Facial Midline. J of Craniofacial surg 13: 129-187, 2002.
3. Cavalcanti MGP, Haller JW, Vannier MW : Three-Dimensional Computed Tomography Landmark Measurement in Craniofacial Surgical Planning : Experimental Validation In Vitro. J Oral Maxillofac Surg, 57: 690-694, 1999.
4. Cavalcanti MGP, Vannier MW : Quantitative analysis of spiral computed tomography for craniofacial clinical applications. Dentomaxillofacial Radiology, 27: 344-350, 1998.
5. Chen LH, Chen WH : Three-dimensional computer-assisted simulation combining facial skeleton with facial morphology for orthognathic surgery. Int J Adult Orthod Orthognathic Surgery, 14: 140-145, 1999.
6. Fuhrmann RAW, Schnappauf A, Diedrich PR : Three-dimensional imaging of craniomaxillofacial structures with a standard personal computer. Dentomaxillofac Radiol, 24(4): 260-263, 1995.
7. Girod S, Keeve E, Girod B : Advanced in interactive craniofacial surgery planning by 3D simulation and visualization. Int. J. Oral Maxillofac Surg, 24: 120-125, 1995.
8. Greiner P, Muller B, Dibbets J : The Angle between the Frankfort Horizontal and the Sella-Nasion Line Changes in Porion and Orbitale

Position during Growth. J Orofac Orthop 65: 217-222, 2004.

9. Hajeer MY, Ayoub AF, Millett DT, Bock M, Siebert JP : Three-dimensional imaging in orthognathic surgery : the clinical application of a new method. Int J Adult Orthod Orthognath Surg, 17(4): 318-330, 2002.
10. Hayashi I : Morphological relationship between the cranial base and dentofacial complex obtained by reconstructive computer tomographic images. Euopean J of Ortho, 25: 385-391, 2003.
11. Herman GT, Liu K : Three dimensional display of humenia organs from computed tomograms. Comput. Graph. & Image Process, 9: 1, 1979.
12. Hsiao TH, Chang HP, Liu KM : A method of magnification correction for posteroanterior radiograthic cephalometry, The Angle Orthodontist 67: 137-142, 1997.
13. Iannetti G, Fadda MT, Indrizzi E, Gennaro P, Spuntarelli G : Scoliosis of the cranial base : radiological and mathematical analysis using finite elements system analysis(FESA) of a case. Journal of Craniomaxillofacial Surgery, 32: 220-227, 2004.
14. Jeffery N, Spoor F : Ossification and Midline Shape Changes of the Human Fetal Cranial Base. Am J Phys Anthropol, 123: 78-90, 2004.
15. Kim YH, Sato K, Mitani H, Shimizu Y, Kikuchi M : Asymmetry of the sphenoid bone and its suitability as a reference for analyzing craniofacial asymmetry. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 124: 656-62, 2003.
16. Kitaura H, Yonetsu K, Kitamori K, Kobayashi K, Nakamura T :

- Standardization of 3-D CT Measurements for Length and Angles by Matrix Transformation in the 3-D Coordinate System. *Cleft Palate-Craniofacial J*, 37(4): 349-356, 2000.
17. Kragsskov J, Bosch C, Gyldensted C, Pedersen SS : Comparison of the Reliability of Craniofacial Anatomic Landmarks Based on Cephalometric Radiographs and Three-Dimensional CT Scans. *Cleft Palate-Craniofacial J*, 34(2): 111-116, 1997.
 18. Major PW, Johnson DE, Hesse KL, Glover KE : Effect of head orientation on posterior anterior cephalometric landmark identification, *The Angle Orthodontist* 66: 51-60, 1996.
 19. Marsh LJ, Vannier MW : the 'third' dimension in craniofacial surgery. *Plast. Reconstr. Surg.* 71: 759, 1983.
 20. Marsh LJ, Vannier MW, Stevens WG, Warren JO, Gayou D, Dye DM : Computerized imaging for soft tissue and osseous reconstruction in the head and neck. *Clin. Plast. Surg.* 12: 279, 1985.
 21. Matteson SR, Bechtold W, Phillips C, Staab EV : A Method for Three-Dimensional Image Reformation for Quantitative Cephalometric Analysis. *J Oral Maxillofac Surg*, 47: 1053-1061, 1989.
 22. Moore KL, Persaud TVN : *The Developing Human*. 7th ed. 2003. pp.390-392. SAUNDERS, Philadelphia.
 23. Ono I, Ohura T, Narumi E, Kawashima K, Matsuno I, Nakamura S, Ohhata N, Uchiyama Y, Watanabe Y, Tanaka F, Kishinami T : Three-dimensional analysis of craniofacial bones using three-dimensional computer tomography. *J Cranio-Maxillo-Facial Surg*, 20: 49-60, 1992.

24. Pirttiniemi P, Miettinen J, Kantomaa T : Combined effects of errors in frontal-view asymmetry diagnosis. *European Journal of Orthodontics*, 18: 629-636, 1996.
25. Ridgway EB, Weiner HL : Skull deformities. *Pediatr Clin N Am*, 51: 359-387, 2004.
26. Santler G, Karcher H, Ruda C : Indications and limitations of three-dimensional models in cranio-maxillofacial surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 26: 11-16, 1998.
27. Trpkova B, Prasad NG, Lam EWN, Rabud D, Glover KE, Major PW : Assessment of facial asymmetries from posteroanterior cephalograms: Validity of reference lines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 123: 512-20, 2003.
28. Troulis MJ, Everett P, Seldin EB, Kikinis R, Kaban LB : Development of a three-dimensional treatment planning system based on computed tomographic data. *Int J. Oral Maxillofacial Surg*, 31: 349-357, 2002.
29. Vannier MW, Marsh LJ, Warren JO : Three dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology* 150: 179, 1984.
30. Whyte AM, Hourihan MD, Earley MJ, Sugar A : Radiological assessment of hemifacial microsomia by three-dimensional computed tomography, *Dentomaxillofacial Radiology*, 19: 119-125 1990.
31. Williams FL, Richtsmeier JT : Comparison of Mandibular Landmarks from Computed Tomography and 3D Digitizer data. *Clinical Anatomy*, 16: 494-500, 2003.
32. Yoo SK, Kim YO, Kim HJ, Kim NH, Jang YB, Kim KD, Lee HY :

Alignment of CT images of skull dysmorphology using anatomy-based perpendicular axes. Phys. Med. Biol. 48: 2681-2695, 2003.

33. 김기덕, 유선국 : 치과 영역에서 개인용 컴퓨터를 이용한 3차원 CT 영상의 활용. 대한치과의사협회지 42(3): 197-207, 2004.
34. 당현구, 이충국 : 두개안면부 비대칭 진단에 있어 FORAMINA SPINOSA 의 신뢰성에 관한 연구. 대한구강악안면외과학회지, 11(2): 188-197, 1985.
35. 문제상 : 3차원 CT 영상을 이용한 정상교합자의 두개악안면 분석. 석사학위논문, 연세대학교 대학원, 서울, 2002.
36. 박준범, 서정훈 : 이하 두정 X-선 계측사진을 이용한 골격형 안면 비대칭 분석, 대한치과교정학회지, 24(1): 161-180, 1994.
37. 윤규식 : 하악골 전돌증을 동반한 안모비대칭의 유형 분석. 석사학위논문, 연세대학교 대학원, 서울, 2003.
38. 이충국, 장현호, 김희경 : 안모비대칭의 진단 및 처치. 대한구강악안면외과학회지, 17(3): 1-10, 1991.
39. 장혜숙, 백형선 : 3차원 CT 영상을 이용한 두개악안면 분석을 위한 기준점의 제안. 대한치과교정학회지, 32(5): 313-325, 2002.
40. 천옥진, 서정훈 : 골격형 안면 비대칭 부정교합자에 대한 정모두부방사선 계측학적 연구, 대한치과교정학회지, 20(3): 565-579, 1990.

Abstract

Reference Plane for Craniofacial Analysis with Three-Dimensional Computed Tomography(3D CT)

Hak Jin Kim

Department of Dental Science

The Graduate School, Yonsei University

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

The 3D CT images has been gaining more popularity because of many advantages including the three dimensional reconstruction, the measurement of distance and angulation of the anatomic structures, the three dimensional analysis of deformed faces, the prediction of skeletal structure after virtual operation and the comparison of pre- and post-operative skeletal changes. Therefore, despite the disadvantages including high cost and high radiation dose, the 3D CT imaging is beginning to play on important for the analysis and the treatment planning for the craniofacial deformities.

Authors have already been doing the 3D CT analysis with a few reference planes. However these reference planes and points used in the 3D CT analysis are different from one author to another and yet have not been verified. Moreover, there is no standardized 3D CT analysis and method for establishing reference planes. Therefore, there are many difficulties in clinical application of the 3D CT.

Here I have confirmed several possible mid-sagittal reference planes for the selection of standard mid-sagittal plane, after verification of the magnification of the 3D CT images and the reproducibility of pointing the reference points with the 3D CT of dry skulls and normal individuals. The obtained results are;

1. Some of the reliable reference points in the mid-sagittal plane, with the least distance and angulation from other median points and planes, were

N', FC, Ba, S, cOC, Opi in the 3D CT of dry skulls and normal adults.

2. The FC-S-Ba plane showed the most accurate, reliable, and applicable reference plane for normal individuals as well as for dry skulls, considering the pointing error and the distance and angulation from other median points and planes.

3. The magnification rate of the 3D CT images, as compared with actual measurement from the dry skulls, was 100.68 % with 1.43mm of mean error.

4. The reproducibility of pointing the candidate points was excellent at N', FC, Opi, Ba and FS.

Key Word : 3D CT, Craniofacial analysis, Reference plane