

벡터를 이용한 하악골의 3차원 구조 분석

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 남 규

벡터를 이용한 하악골의 3차원 구조 분석

지도교수 이 상 휘

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2012년 7월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 남 규

김남규의 석사 학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2012년 7월 일

감사의 글

먼저 이 논문이 완성되기까지 바쁘신 가운데서도 늘 열정과 관심으로 지도해주시고 이끌어주신 이상휘 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 세심한 가르침과 조언으로 심사를 맡아주신 유형석 교수님과 강상훈 선생님께도 깊이 감사 드립니다.

구강악안면외과 수련과정 동안 학문적인 가르침 뿐만 아니라 의사로서의 마음가짐과 태도를 따뜻한 말씀으로 일깨워주신 박형식 교수님, 차인호 교수님, 강정완 교수님, 김형준 교수님, 정영수 교수님, 남웅 교수님, 최은주 교수님, 그리고 정휘동 선생님, 김소미 선생님, 박경란 선생님께도 깊은 감사를 드립니다.

길고도 짧았던 수련생활 동안 함께하며 큰 힘이 되어준 규태형, 혜영이, 바다, 재석이에게 특히 고마운 마음을 전합니다. 아울러 의국 선배님들과 후배들에게도 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로 이 모든 것을 가능하게 해주신 사랑하는 어머니와 환갑이 가까운 나이에든 타국 땅에서 가족을 위해 땀흘리시는 세상에서 가장 존경하는 나의 아버지, 항상 물심양면으로 큰 힘이 되어주는 누나와 매형, 평생의 동반자가 될 덕희에게도 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 항상 정진하는 따뜻한 가슴을 가진 구강악안면외과 의사가 되겠습니다. 감사합니다.

2012 년 7 월 5 일

김 남 규

차 례

차례	i
그림 차례	iii
표 차례	v
국문요약	vii
I. 서 론	1
II. 연구대상 및 방법	4
1. 연구대상	4
2. 영상 획득과 3차원 영상 구성	6
3. 기준평면의 설정	7
4. 두개안면부위의 기준점 및 하악골 기준평면의 설정	9
5. 하악골 기능단위의 설정	11
6. 하악골 대칭성의 평가	14
7. 벡터를 이용한 하악골의 형태 분석	16
8. 하악골 전후방 위치와 기능단위 벡터 간의 관계	21
9. 방법 오차(method error) 및 통계 처리	21
III. 연구 결과	23
1. 조사자내 오차 검정	23
2. Menton plane angle	23

3. 계측 항목의 분석	24
가. 벡터 기준점의 위치 분석	24
나. 기능단위 벡터의 분석	25
다. 기능단위 합벡터의 크기 분석	38
라. 인접 벡터간 이루는 각도에 대한 분석	40
 IV. 고찰	 52
 V. 결론	 60
 참고문헌	 62
 영문요약	 66

그림 차례

Figure 1. Reference points used to construct the reference planes	9
Figure 2. Reference point and the reference planes	11
Figure 3. Mandibular landmarks used in this study	12
Figure 4. Vectors of functional units of the mandible	14
Figure 5. Schematic drawing of the vector angle \vec{A} (θ_y), measured by the angle between \vec{A} and Y axis	17
Figure 6. Schematic drawing of the vector sum	19
Figure 7. Schematic drawing of the angle measurement between two adjacent vectors	20
Figure 8. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{CON}}$ for all three groups	27
Figure 9. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{BD}}$ for all three groups	29
Figure 10. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{SYM}}$ for all three groups	31

Figure 11. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{COR}}$ for all three groups33

Figure 12. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{GO}}$ for all three groups35

Figure 13. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{CON}}$ & $\overline{\mathbf{BD}}$ for all three groups42

Figure 14. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{BD}}$ & $\overline{\mathbf{SYM}}$ for all three groups44

Figure 15. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{CON}}$ & $\overline{\mathbf{COR}}$ for all three groups...46

Figure 16. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{CON}}$ & $\overline{\mathbf{GO}}$ for all three groups48

Figure 17. Schematic drawing of $\overline{\mathbf{BD}}$ & $\overline{\mathbf{GO}}$ for all three groups50

표 차례

Table 1. Grouping of subjects with the dentofacial deformity diagnosis	6
Table 2. Vectore of funtional units of the mandible	13
Table 3. Comparison of reference point position between right and left inferior alveolar foramen and mental foramen.....	15
Table 4. Comparison of the menton plane angles between groups	23
Table 5. Comparison of starting point discrepancy for the vectors of functional unit	25
Table 6. Comparison between the size and direction of condylar vector.....	27
Table 7. Comparison between the size and direction of body vector.....	29
Table 8. Comparison between the size and direction of symphyseal vector	31

Table 9. Comparison between the size and direction of coronoid vector.....	33
Table 10. Comparison between the size and direction of gonial vector.....	35
Table 11. Comparison of the size of vectors of functional unit between genders	37
Table 12. Comparison between the size of the vector sum	38
Table 13. Comparison between the angle composed by condylar and body vectors	42
Table 14. Comparison between the angle composed by body and symphyseal vectors.....	44
Table 15. Comparison between the angle composed by condylar and coronoid vectors	46
Table 16. Comparison between the angle composed by condylar and gonial vectors	48
Table 17. Comparison between the angle composed by body and gonial vectors	50

국문 요약

벡터를 이용한 하악골의 3차원 구조 분석

하악골은 두개안면영역의 하방 영역의 큰 부분을 담당하고 이러한 하악골의 비정상적인 성장은 악안면기형 및 부정교합의 주된 부분으로 고려되며, 하악골 후퇴증 또는 전돌증의 직접적인 원인으로 악교정 수술을 위한 진단 및 치료 계획의 수립에 중요한 요소이다. 따라서 하악골의 형태 및 하악골 후퇴증 또는 전돌증의 원인을 분석하고자 하는 노력은 다양한 방법으로 시도되어 왔으며 최근에는 3D CT 를 이용하여 하악골의 입체 형태 및 성장 양상을 실제적으로 이해하려는 노력이 계속되고 있다. 하지만 현재 3D CT 를 이용한 하악골 분석은 기준점의 위치, 크기, 방향, 형태 등이 개별적으로 비교분석만 되어 2 차원적 분석의 틀을 벗어나지 못하고 있다. 하악골의 발생 및 성장 이론을 바탕으로 정상 및 하악골기형 환자에서의 하악골을 이루는 기준점의 위치, 크기, 방향을 동시적으로 비교 분석하여야 3 차원 공간 상의 하악골의 형태 이상을 원인과 함께 분석하고 치료 계획을 세울 수 있을 것이다. 이를 위해서 Moss 가 제시한 하악골을 이루는 기능 단위별로 크기와 방향값을 동시에 지니는 벡터를 설정하였으며 벡터 분석 및 연산을 통해서 정상대조군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증의 패턴을 분석하고자 하였다.

비대칭이 없는 정상대조군 17 명, 하악골 후퇴증군 26 명, 하악골 전돌증군 24 명을 대상으로 양측 하악골 기능단위 벡터의 크기와 방향코사인, 벡터간 사잇각을 연산하여 C3 평면에 대한 menton 의 위치와의 상관 관계를 분석하였으며 다음과 같은 결론을 내렸다.

하악골의 위치를 결정하는 시작부위에 해당하는 하악과두는 정상대조군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증간 명확한 차이를 보이지 않으며, 하악골 후퇴증에서 좀더 전상방에 위치하였다. 하악골 기능 단위 벡터의 크기는 오혜돌기와 하악각 벡터를 제외하고, 정상대조군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, C3 평면과 CF1Me 평면의 사잇각 간 상관성은 과두돌기, 하악체, 정중부 순으로 높은 관계를 보였다. 기능 단위 벡터의 방향은, 사후 검정 결과 과두돌기 벡터에서 정상대조군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증에 따라 유의한 차이를 보였으며, 다른 기능 단위 벡터는 하악골 후퇴증 만이 다른 군에 비하여 명확한 차이를 보이고 정상대조군과 하악골 전돌증군 간의 유의한 차이를 보이지 않았다. C3 평면과 CF1Me 평면의 사잇각 간 상관성은 하악체, 과두돌기, 정중부 순으로 높은 관계를 보였다. 기능 단위 벡터의 관계를 고려할 때, 합/차벡터의 크기들은 정상대조군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 과두부, 하악체, 정중부 벡터의 합이 C3 평면과 CF1Me 평면의 사잇각과 높은 상관관계를 보였다. 기능 단위 벡터 간의 사잇각은 대부분 수평평면에 투영된 상의 사잇각이 그룹간 유의한 차이를 보이며, C3 평면과 CF1Me 평면의 사잇각과 높은 상관관계를 보였다. 시상평면 또는 관상평면에 투영된 상의 사잇각은 정상대조군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증 간의 유의할 만한 차이가 적었으며, 상관관계를 보이지 않았다. 이상을 고려하였을 때 하악골 전돌증은 과두돌기의 방향과 과두돌기, 하악체 벡터의 크기 이상이 주된 요인이며 하악골 후퇴증에서 수평평면에서의 각 기능 단위 벡터의 작은 사잇각 및 하악골 전체의 후하방 회전이 주된 요인임을 확인할 수 있었다.

이상을 종합하여 볼 때, 하악골 기능 단위 벡터의 분석은 크기 및 방향, 각 벡터간 사잇각으로 하악골의 전후방적 성장양상을 잘 표현할 수 있었고, 기형의 원인을 추론할 수 있게 해 주었다. 따라서 하악골 기능단위 벡터 분석법은 하악골 발육성 기형의 진단 및 수술 계획 수립에서 단순한 구조적

분석을 넘어 환자 개개인의 하악골 기형의 원인을 개별적으로 분석하고 이해하여, 이를 바탕으로 실제 수술 계획에 적용할 수 있는 병인론적 진단 및 치료계획 수립을 가능하게 할 것으로 판단되며, 보다 많은 표본을 대상으로 한 연구를 통하여, 앞으로 임상 환경에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

핵심되는 말 : 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증, 하악골 기능 단위, 벡터, 크기, 방향, 벡터 분석

벡터를 이용한 하악골의 3차원 구조 분석

< 지도교수 : 이 상 휘 >

연세대학교 대학원 치의학과

김 남 규

I. 서 론

하악골은 안면부의 아래쪽 1/3 을 차지하며, 얼굴의 형태 및 기능과 밀접한 관계를 가진다. 하악골의 성장 패턴에 관하여는 이미 많은 연구가 있었으며(Bjrk and Skieller, 1983; Sicher, 1947), Moss(Moss and Rankow, 1968)는 하악과두돌기 절제술을 시행받은 환자 연구를 통해 하악골 성장은 하악골 각 부분들의 독립적인 성장이 합해진 것이라 하였다. 그리고 기능적 기질 이론을 이용하여 하악골을 정중부, 하악체, 하악각, 오뿔돌기, 하악과두, 치아치조골의 6 개의 기능적 단위로 구분하였다(Moss and Rankow, 1968).

하악골의 성장은 단순한 크기의 증가를 의미하지 않는다. 예를 들어 하악지에서는 성인이 되면서 수직적 성장이 커지고 과두부와 골체부 사이의 각도가 감소하며 하악지 후방으로는 골침착이 증가하여 수직적 형태의 성인 하악지 형태를 보인다(Enlow, 1990). 결국 성장의 크기와 마찬가지로 성장 방향은 하악골 형태와 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 성장이 완료된 하악골의 구조적 분석에서도 이러한 크기와 방향의 개념을 동시에 평가하는 것은 필요한 작업이다.

그러나 기존의 하악골의 성장이나 형태적 평가에서는 2차원 영상 검사를 주로 이용하여 3차원 객체인 하악골의 구조를 제대로 평가하고 크기와

방향을 동시에 고려하는 것이 불가능하였다. 그밖에도, 확대율의 차이, 영상의 왜곡, 해부학적 구조물의 중첩으로 인한 평가 어려움 등이 3차원 분석을 더 어렵게 하였다(S. Park et al., 2006; W. Park et al., 2010; You et al., 2010).

이에 비하여 3차원 전산화단층 촬영 영상 데이터 등의 자료를 이용한 분석은 하악골의 3차원 구조체 영상을 이용할 수 있고, 실제 해부학 기준점을 설정할 수 있는 등의 많은 장점을 가진다. 특히 구조체의 크기와 방향을 동시에 고려할 수 있는 잠재력을 가지는 것도 장점이다(Alves et al., 2007; Maeda et al., 2006; Terajima et al., 2009). 하악골의 3차원 분석이라 하더라도 기능단위별 위치, 길이, 방향 차이를 나누어서 시행한 분석은(Baek et al., 2007; W. Park et al., 2010; Swennen et al., 2009; You et al., 2010) 하악골 기능단위의 크기 차이에 비하여 더 심한 형태적 차이 혹은 이상을 제대로 이해하기 어려웠고, 성장 및 형태 이상을 기능적 단위 개념으로 이해하여 치료 계획을 세우기도 어려웠다(Gateno et al., 2011).

결국 하악골을 3차원 공간의 기능단위로 나누고, 이들의 크기와 방향, 기능단위 간의 관계를 동시에 연산할 수 있는 방법이 필요하다고 생각하게 되었다. 하악골은 발생 과정에서 하치조 신경혈관 다발이 먼저 형성되고, 그 주변에서 이차연골이 형성된 후, 이공(MF) 부위에서 일차골화가 시작되므로 이공(MF)과 하악골(F)은 중요한 기준점이 될 수 있어 이들을 기준으로 삼을 수 있겠다 (Haraguchi et al., 2002; Hong and Yi, 2001; Maeda et al., 2006).

벡터는 힘이나 속도와 같이 크기와 방향을 함께 가지는 물리량이다. 벡터의 연산을 이용하면 크기 뿐만 아니라 방향을 연산하여 수학적으로 표현할 수 있고 이를 통하여 서로 다른 두 벡터의 크기와 방향을 동시에 비교 분석할 수 있다. 벡터의 합이나 차, 내적 등을 이용하면 각 벡터 간의 관계, 특히 방향을 연산할 수 있고, 성분을 이용하여 좌표 평면에서 벡터를 시각적으로 직접 비교할 수 있다.

따라서 저자는 크기와 방향성을 동시에 고려할 수 있는 벡터 개념을 하악골의 3차원 기능단위 기반의 형태적 분석에 접목하여 시도하고자 하였다.

이에 따라 위 기준점을 활용하고 하악골의 기능단위에 대하여 벡터를 적용시켜 하악과두 벡터(condylar vector), 오뿔돌기 벡터(coronoid vector), 하악각 벡터(gonial vector), 하악체 벡터(body vector), 정중부 벡터(symphyseal vector)를 설정할 수 있었다. 결국 이 연구에서는 3차원 전산화 단층 촬영 자료를 이용하여 하악골 기능단위 벡터 분석법을 도입하고 정상 하악골, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증에 대하여 기능단위 벡터의 크기와 방향, 합벡터 및 인접 벡터 간의 삼차원적 관계를 연산하고, 이들의 후퇴 혹은 전돌증의 형태적 이상 정도와 상관 관계를 평가하였다. 이를 통하여 앞으로 하악골 기형의 병인론적 진단 및 치료계획 수립에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

모 대학병원 구강악안면외과의 치과 의사 1인이 시행한 임상 검사 및 영상 검사 결과를 이용하여 제1, 2, 3군의 포함 여부를 결정하였다. 우선 정상군인 제1군은 얼굴 비대칭이 없고, 견치와 제 1 대구치 등 상실치가 없고 치아 보철물이 없는 만 20-30세 사이의 건강한 성인을 대상으로 정상교합자를 선발해 포함시켰다. 또 모든 군에 대하여 얼굴 대칭성을 확인하기 위해 전후방 두부측측사진 및 3차원 두개안면 구조 분석을 시행하고, 정중시상평면에 대해 menton의 변위가 2.0 mm 이내(Haraguchi et al., 2002; Severt and Proffit, 1997; You et al., 2010)에 있는 자로 한정하여 안면 및 하악골 비대칭이 없는 자를 선발하였다. 그 외에 교정치료를 받은 병력이 있거나 임신부, 또는 임신 계획을 가진 자는 제외하였다. 또 구순구개열, Crouzon 증후군 등과 같은 선천성 기형을 가진 자, 하악골 특정부위의 형태적 이상을 동반한 자, 안면부 외상을 포함하여 특별한 전신적 병력이나 치아교정치료나 악교정 수술 병력이 있는 자도 제외하였다. 그 외의 각 군 포함 조건은 아래와 같이 정하였고, 표1에 정리하였다 (Table 1).

가. 제1군 (정상 대조군)

두개안면부에 대한 하악골 위치가 정상인 17명을 대상으로 하였으며, (남자 12명, 여자 5명 ; 평균 24.5세 (20~29세))였다. 이들은 두부측측사진의 Steiner 분석상 ANB 각도 차이가 0~4° (김경호 et al., 2001;

부정교합백서발간위원회, 1997)인 골격성 제1급 관계를 가지면서, 상하악 제1대구치 간에는 제1급 교합 관계를 갖도록 하였다. 또 menton과 fronto-maxillary point (FM)을 연결해 menton plane을 만들고, Delaire 분석의 C3 평면 (the superior plane of the cranial base)과 이루는 각도를 menton plane angle로 하여 한국 정상 성인의 평균 CF1 평면 각도 $87 \pm 3^\circ$ (김일현, 1991)의 범위 내에 있는 경우에만 제1군에 포함시켰다.

나. 제2군 (하악골 후퇴증군)

위 임상 검사 및 방사선사진 검사에서 ANB 차이가 4° 보다 커서 골격성 제2급 관계를 갖고, 제1대구치가 제2급 구치관계를 보이며, Delaire 분석의 menton plane angle이 정상보다 작아 (84° 이하) 하악골 후퇴증으로 진단된 26명을 대상으로 하였다. 남자 7명, 여자 19명이었고 평균 23.5세(18~32세)였다.

다. 제3군 (하악골 전돌증군)

역시 같은 임상 검사 및 방사선사진 검사에서 ANB 차이가 0° 보다 작아 골격성 제3급 관계를 갖고, 제1대구치는 제3급 구치관계를 보이며, Delaire 분석에서 menton plane angle이 정상보다 큰 경우 (90° 이상) 하악골 전돌증으로 진단하였으며, 24명(남자 15명, 여자 9명)이었으며 평균 21.0세(16~33세)였다.

Table 1. Grouping of subjects with the dentofacial deformity diagnosis

Group	Description	ANB difference	Age	Gender		Total
				Male	Female	
Group I	Normal	0~4 °	24.5±2.3	12	5	17
Group II	Mandibular retrognathism	>4 °	23.5±4.3	7	19	26
Group III	Mandibular prognathism	<0 °	21.0±3.9	15	9	24

2. 영상 획득과 3차원 영상 구성

모든 대상자들의 CT 촬영을 위해서 연세대학교 세브란스 병원에 설치된 High-speed Advantage 전산화 단층촬영기 (GE Medical System, Milwaukee, U.S.A.)를 사용하였다. 촬영 조건은 high-resolution bone algorithm, field of view 24.1cm, 200mA, 120kV, scanning time 1 sec., thickness 1mm 였다. 촬영 부위는 두정부로부터 하악골 하연까지 포함되었으며, reconstruction matrix는 512*512 pixel, pixel 크기는 0.25mm이었다.

촬영된 단면 촬영 영상 정보는 digital imaging communication in medicine (DICOM) 파일 형식으로 저장하고 3차원 입체 의료영상 프로그램인 SimPlant Pro plus OMS(crystal version, Materialise Dental co., Leuven, Belgium)을 사용하여 두개골 및 하악의 3차원 입체 영상을 제작하였다. 또 부속 단면 영상들이 수평면(axial plane), 관상면(coronal plane), 시상면(sagittal plane) 상에서 나타나도록 하였다.

3. 기준평면의 설정

정중시상 기준평면(midsagittal reference plane, MSP)은 falx cerebri(FxCe), foramen cecum(FC), center of foramen magnum(CFM)을 지나는 평면(김학진, 2005)으로 정하였으며 수평 기준평면(horizontal reference plane)은 정중시상 기준평면에 수직이면서 좌측 및 우측의 안구 중심(eye ball center, EC), 시신경관(optic canal, Oc)의 중간점(midpoint)을 지나는 안와평면(orbital plane)(강연희, 2010)으로 하였다. 또 관상 기준평면(coronal reference plane)은 정중시상 기준평면과 수평 기준평면에 수직이면서 CFM을 지나는 평면으로 하였다. 이에 따라 X축은 측방, Y축은 전후방, Z축은 상하방을 지칭하는 것으로 결정하였고, 기준점이 X축에서 좌측, Y축에서 전방, Z축에서 하방에 위치할 경우 양의 값을 갖는 것으로 설정하였다. 각 기준점과 기준 평면의 정의는 아래 정리 및 그림과 같다(Fig 1).

- 가. FxCe(falx cerebri) : the point of falx cerebri near Bregma on the coronal section
- 나. FC(foramen cecum) : the most anterior & superior point of foramen cecum
- 다. CFM(center of foramen magnum) : the midpoint of foramen magnum at the level of basion
- 라. EC(eye ball center) : the center point of eye ball in sagittal, axial and coronal plane
- 마. midpoint EC : the midpoint of right and left EC point
- 바. Oc(optic canal) : the most superior point of optic canal, both side
- 사. midpoint Oc : the midpoint of right and left Oc point

- 아. Midsagittal plane(MSP) : the plane constructed by three points of FxCe, FC, CFM
- 자. Orbital plane : the plane normal to MSP and through 2 points of midpoint Oc & midpoint EC
- 차. Frontal plane : the plane normal to MSP, Frontal plane and through a point of CFM
- 카. zero point : the point as intersection of frontal plane with orbital and midsagittal plane

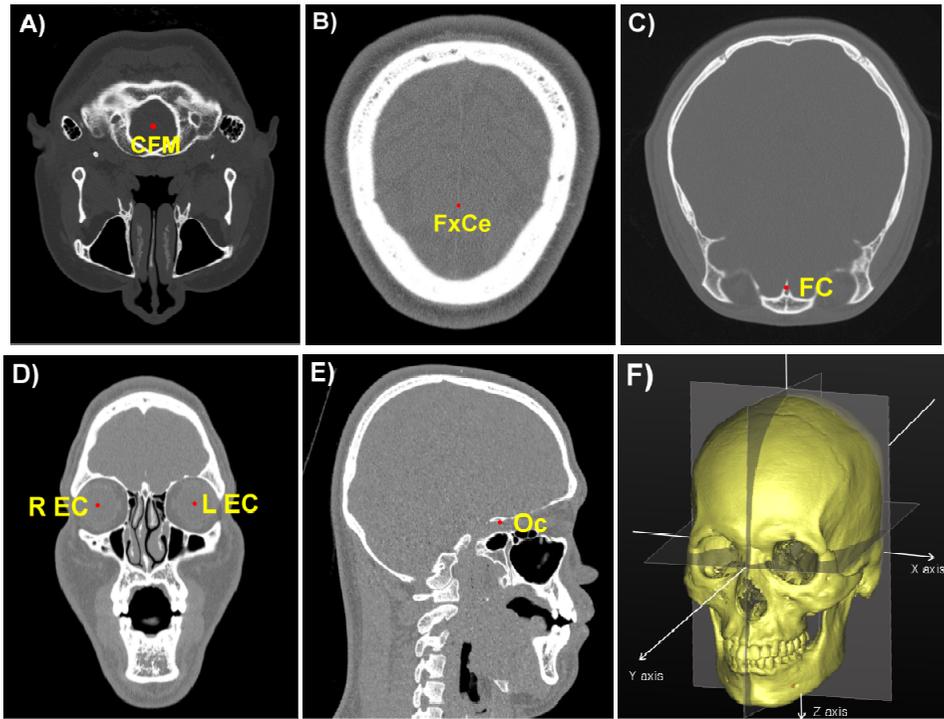


Fig 1. Reference points used to construct the reference planes

A, B, C) Three reference points used for the construction of midsagittal plane

D, E) Two reference points used for the construction of orbital plane. 'R' and 'L' were used for distinction of bilateral landmarks.

F) Constructed reference planes and three-dimensional coordinate system to denote X, Y, Z axis

4. 두개안면 기준점 및 하악골 기준평면의 설정

두개 부위에 대한 하악골의 상대적 위치를 표현하기 위하여, 두개저를 나타내는 Delaire의 C3 평면을 아래 정의된 기준점 및 기준평면을 이용하여

설정하였다(Fig 2). 또 두개저에 대한 하악골의 전후방 위치를 표현하기 위하여 FM에서 menton까지의 menton 평면을 설정하고 C3 평면과의 각도(menton plane angle)를 측정하였다(Fig 2-C).

가. M(M point) : junction of maxillary, nasal and frontal sutures (both side)

나. M line : Line between the right and left M

다. FM(Frontomaxillary suture) : junction of frontomaxillary sutures at middle of the upper border of the ascending nasal process of the maxilla

라. FM line : Line between the right and left FM

마. Clp(Clinoid process) : Apex of the posterior clinoid process(bilateral)

바. Clp line : Line between the right and left Clp

사. M' : The intersection point of line M and MSP

아. FM' : The intersection point of line FM and MSP

자. Clp' : The intersection point of line Clp and MSP

차. C3 plane(the superior plane of the cranial base) : the plane passing through point M' and point Clp' and normal to plane MSP

카. menton plane (FM'-Me plane); the plane passing through point FM' and menton and perpendicular to plane MSP

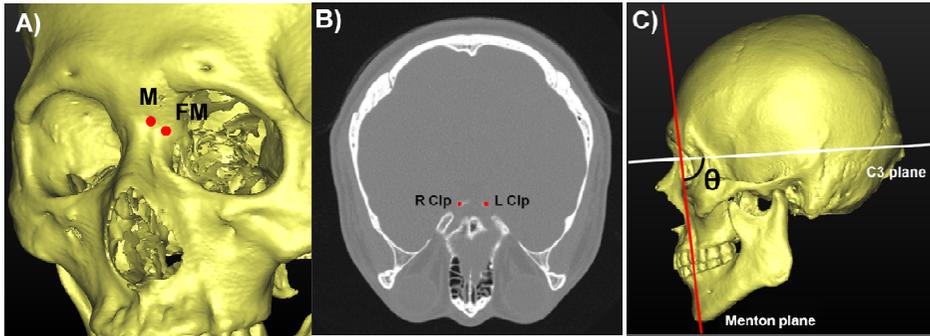


Fig 2. Reference point and the reference planes

- A, B) Reference points used for the construction of C3 and menton plane
- C) C3 and menton plane are seen on sagittal view. The angle between two plane(menton plane angle) are used in this study

5. 하악골 기능단위의 설정

가. 하악골 기능단위를 위한 기준점의 설정

하악공과 이공을 기준으로 하악골 기능단위가 표현될 수 있도록 하였다(W. Park et al., 2010). 하악 과두부에서는 과두 내외측의 중심점 (condyle point, CON)을 이용했고, 이부에서는 Pogonion을 사용하였다(Fig 3-A, B). 또 양측성 기준점의 경우에는 R나 L을 붙여서 우측과 좌측을 구분하되 대칭성이 있음을 확인하고 별개의 데이터로 이용하였다.

- 가. CON-1 : the most lateral point of the condyle
- 나. CON-m : the most medial point of the condyle
- 다. CON(condyle) : midpoint of the CON-1 and CON-m

- 라. COR(coronoid) : the most superior point of the coronoid
- 마. F(fossa of the mandibular foramen) : The most medial point of the
mandibular foramen (W. Park et al., 2010)
- 바. GO_{inf} : The most inferior point of posterior border of ramus
- 사. GO_{post} : The most posterior point of posterior border of ramus
- 야. GO(gonion) : The midpoint of the GO_{inf} and GO_{post} (S. Park et al.,
2006; You et al., 2010)
- 자. MF(fossa of the mental foramen) : The most medial point of the
mental foramen
- 차. Pog(pogonion) : The most anterior midpoint of the symphysis of
mandible
- 카. Me(menton) : The most inferior midpoint of the symphysis of
mandible

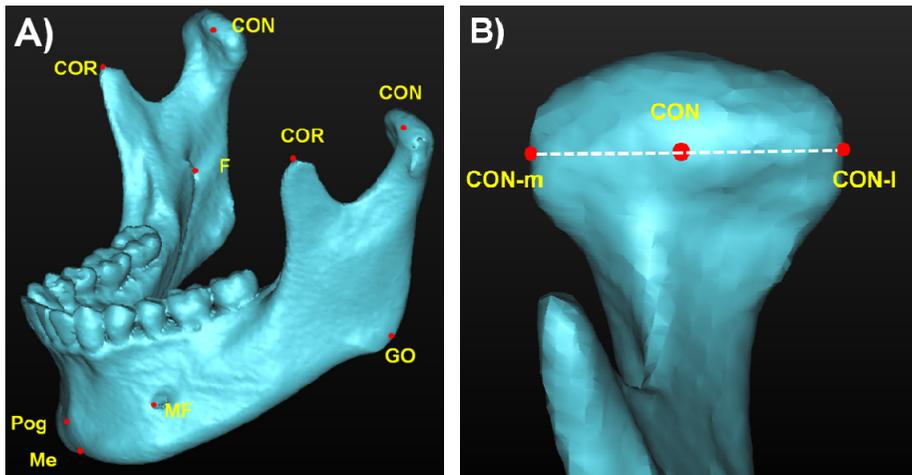


Fig 3. Mandibular landmarks used in this study

A, B) Landmarks representing mandibular functional units and structure

나. 하악골 기능단위 벡터 설정

위 기준점들을 이용하여 하악골의 기능단위 각각에 대한 벡터를 설정하였다 (Table 2, Fig 4-A). 정중부, 하악체, 하악각, 오혜돌기, 과두의 기능단위에 대하여, Simplant Pro Plus OMS를 이용하여 각 기준점의 3차원 좌표값을 얻고 이를 MATLAB(Mathwork, Massachusettes, USA)에 표시하고 연결하여 하악골 기능단위 벡터 모델을 만들었다(Fig 4-B).

Table 2. Vectors of funtional units of the mandible

Vector		Starting point	Ending point
Condylar vector	$\overrightarrow{\text{CON}}$	CON	F
Body vector	$\overrightarrow{\text{BD}}$	F	MF
Symphyseal vector	$\overrightarrow{\text{SYM}}$	MF	Pog
Coronoid vector	$\overrightarrow{\text{COR}}$	F	COR
Gonial vector	$\overrightarrow{\text{GO}}$	F	GO

Note) The definition of CON, F, MF, COR, GO points is presented in section 5.

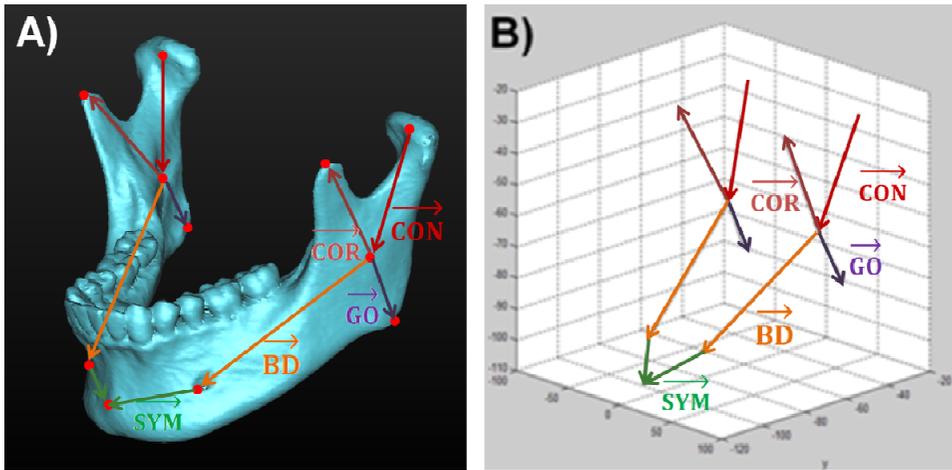


Fig 4. Vectors of functional units of the mandible

- A) 3D reconstructed image of mandible with the vectors of functional unit on Simplant software
- B) Vector model of mandibular functional units on MATLAB software

6. 하악골 대칭성의 평가

앞에서 설명한 바와 같이 본 연구에서는 두개안면 및 하악골 비대칭이 있는 대상은 제외하였다. 하악골이 대칭적인 구조물이어서 하악골 양측의 데이터를 각각 사용할 수 있는지 검증하기 위하여 기준점인 하악공 및 이공의 3차원 공간 좌표값을 얻고 좌 우측 좌표값을 대응표본 t-검정으로 비교하여 대칭성을 확인하였다 (Table 3).

Table 3. Comparison of reference point position between right and left inferior alveolar foramen and mental foramen.

Point	Coordinate	Mean±S.D*	T value	p**	
F	X	Rt.	42.14±2.44	-0.526	0.600
		Lt.	42.27±2.65		
	Y	Rt.	46.54±5.41	-1.118	0.267
		Lt.	46.81±5.21		
	Z	Rt.	63.43±7.30	-1.452	0.151
		Lt.	63.84±7.15		
MF	X	Rt.	23.52±1.88	-0.335	0.739
		Lt.	23.62±2.03		
	Y	Rt.	92.32±12.71	-0.231	0.818
		Lt.	92.37±12.57		
	Z	Rt.	96.84±6.45	-1.409	0.164
		Lt.	97.13±6.23		

*unit : mm. **p : paired samples t-test between right and left side.

NOTE) The definition of F, MF point is presented in section 5.

대응표본 t-검정 분석 결과 t값은 ±1.96보다 작고, 유의확률은 모두 0.05보다 큰 값을 보여 좌, 우측 기준점의 위치는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 하악골의 좌, 우측 기능단위 벡터는 대칭적이어서 위치와 크기가 동일하다고 판단되었으며, 따라서 연구 대상자의 하악골 좌, 우측에서 각각 데이터를 얻어 제1군은 34개, 제2군은 52개, 제3군은 48개의 표본을 대상으로 연구하였다.

7. 벡터를 이용한 하악골의 형태 분석

가. 하악골 벡터의 시작점 위치 분석

벡터 데이터는 위치 정보를 포함하지 않아서, 하악골 기능단위의 벡터 시작점 위치를 평가하였다. 이를 위하여 CON, F, MF의 3차원 위치 정보인 좌표값을 Simplant로부터 얻고 비교하였다.

나. 기능단위 벡터의 분석

A. 기능단위 벡터의 크기 분석

벡터 $\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$ 일 때, 벡터의 크기 $|\vec{A}|$ 는 다음 관계식을 만족한다.

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

- (1) $|\overline{\text{CON}}|$: 과두 벡터의 크기
- (2) $|\overline{\text{BD}}|$: 하악체 벡터의 크기
- (3) $|\overline{\text{SYM}}|$: 정중부 벡터의 크기
- (4) $|\overline{\text{COR}}|$: 오웬돌기 벡터의 크기
- (5) $|\overline{\text{GO}}|$: 하악각 벡터의 크기

B. 기능단위 벡터의 방향 분석

벡터 $\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$ 가 X축, Y축, Z축과 이루는 각도를 각각 θ_x , θ_y , θ_z 라고 할 때, 다음의 관계가 성립하고 $\cos(\theta_x)$, $\cos(\theta_y)$, $\cos(\theta_z)$ 는 \vec{A} 의

방향 코사인인 되고, 벡터 $(\cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z))$ 은 \vec{A} 의 방향을 결정하는 단위벡터이다(fig 5).

$$\cos(\theta_x) = \frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$$

$$\cos(\theta_y) = \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$$

$$\cos(\theta_z) = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$$

- (1) \overrightarrow{CON} $(\cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z))$: 과두 벡터의 방향
- (2) \overrightarrow{BD} $(\cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z))$: 하악체 벡터의 방향
- (3) \overrightarrow{SYM} $(\cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z))$: 정중부 벡터의 방향
- (4) \overrightarrow{COR} $(\cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z))$: 오뿔돌기 벡터의 방향
- (5) \overrightarrow{GO} $(\cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z))$: 하악각 벡터의 방향

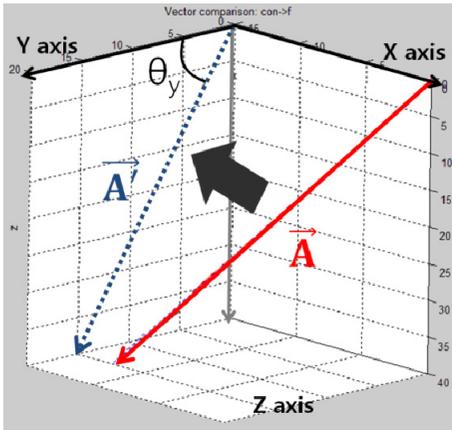


Fig 5. Schematic drawing of the vector angle \vec{A} (θ_y), measured by the angle between \vec{A} and Y axis

다. 기능단위 합벡터의 크기

$A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$, $C(x_3, y_3, z_3)$ 의 세점이 있을때, $\overrightarrow{AB} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$ 과 $\overrightarrow{BC} = (x_3 - x_2, y_3 - y_2, z_3 - z_2)$ 의 합벡터는 $\overrightarrow{AC} = (x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1)$ 이다(Fig 6). 이때 합벡터의 크기는 아래와 같다.

$$|\overrightarrow{AC}| = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2}.$$

이를 이용해 인접한 기능단위 벡터들의 합벡터 크기를 계산하였다. 그리고 하악골 전체를 대표할 수 있는 \overrightarrow{CON} , \overrightarrow{BD} , \overrightarrow{SYM} 의 합벡터도 구하여 분석하였다.

- (1) $\overrightarrow{CON} + \overrightarrow{BD}$
- (2) $\overrightarrow{BD} + \overrightarrow{SYM}$
- (3) $\overrightarrow{CON} + \overrightarrow{COR}$
- (4) $\overrightarrow{CON} + \overrightarrow{GO}$
- (5) $\overrightarrow{BD} - \overrightarrow{GO}$
- (6) $\overrightarrow{CON} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{SYM}$

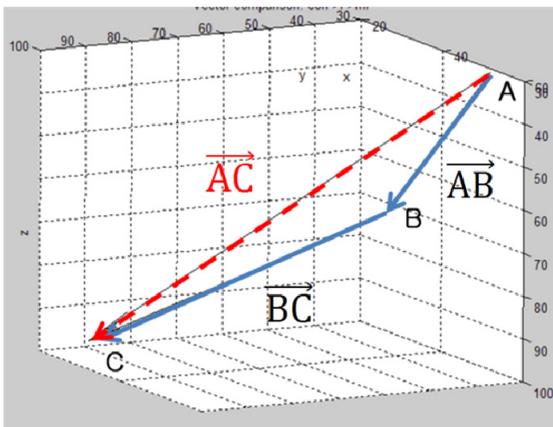


Fig 6. Schematic drawing of the vector sum

라. 기능단위 벡터들의 사잇각

인접한 기능단위 벡터가 이루는 각도는 아래와 같은 관계식으로 계산할 수 있으나, 3차원 각도 차이를 정확히 비교하기 위하여 각 벡터를 Simplant software에서 기준 수평평면, 시상평면, 관상평면에 투영해 벡터 간 각도로 나누어 평가하였다(Fig 7).

$$\text{Cos}(\theta) = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|} = \frac{A_x \times B_x + A_y \times B_y + A_z \times B_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \times \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}}$$

- (1) $\angle \overrightarrow{\text{CON}} \& \overrightarrow{\text{BD}} (\theta_{XY})$: 과두부와 하악체 벡터가 수평평면에 투영된 상이 이루는 각도
 $\angle \overrightarrow{\text{CON}} \& \overrightarrow{\text{BD}} (\theta_{YZ})$: 과두부와 하악체 벡터가 시상평면에 투영된 상이 이루는 각도
 $\angle \overrightarrow{\text{CON}} \& \overrightarrow{\text{BD}} (\theta_{ZX})$: 과두부와 하악체 벡터가 관상평면에 투영된 상이 이루는 각도
- (2) $\angle \overrightarrow{\text{CON}} \& \overrightarrow{\text{COR}} (\theta_{XY/YZ/ZX})$: 과두부와 오혜돌기 벡터가 수평/시상/관상평면에 투영된 상이 이루는 각
- (3) $\angle \overrightarrow{\text{CON}} \& \overrightarrow{\text{GO}} (\theta_{XY/YZ/ZX})$: 과두부와 하악각 벡터가 수평/시상/관상평면에 투영된 상이 이루는 각
- (4) $\angle \overrightarrow{\text{BD}} \& \overrightarrow{\text{SYM}} (\theta_{XY/YZ/ZX})$: 하악체와 정중부 벡터가 수평/시상/관상평면에 투영된 상이 이루는 각
- (5) $\angle \overrightarrow{\text{BD}} \& \overrightarrow{\text{GO}} (\theta_{XY/YZ/ZX})$: 하악체와 하악각 벡터가 수평/시상/관상 평면에 투영된 상이 이루는 각

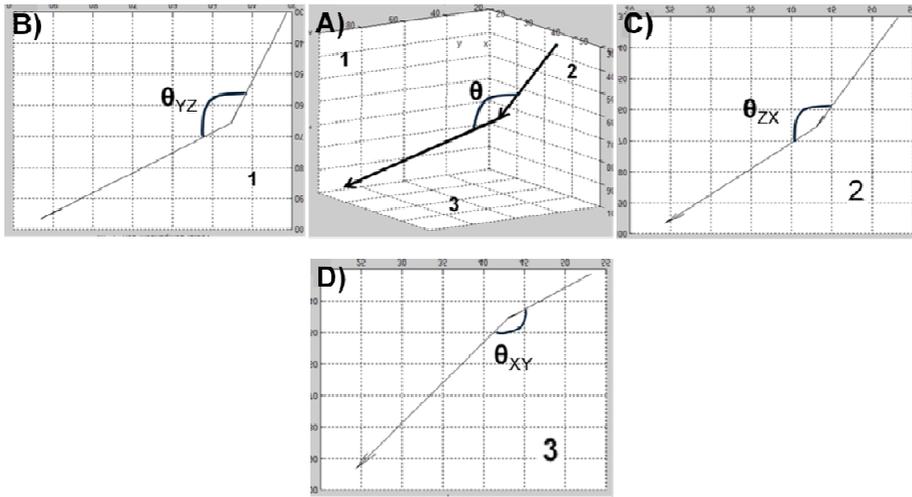


Fig 7. Schematic drawing of the angle measurement between two adjacent vectors

- A) Schematic drawing of measuring the angle comprised with adjacent two vectors in 3-dimensional space
- B, C, D) The angle is comprised with projections of adjacent two vectors in the sagittal, frontal, horizontal plane

8. 하악골 전후방 위치와 기능단위 벡터 간의 관계

하악골의 전후방 위치, 즉 전돌 또는 후퇴를 평가하기 위해서 C3 평면과 menton 평면의 사잇각인 menton plane angle을 구하고, 하악골 기능단위 벡터와의 상관 관계를 상관 관계 및 다중 회귀 분석으로 평가하였다. 그러나 기능단위 벡터의 방향코사인 및 합벡터는 변수들의 관계가 서로 독립적이지 않아 다중 공선성의 문제가 생길 수 있어 회귀분석을 하지 않았다. 평가한 관계는 아래와 같다.

- 가) 기능단위 벡터의 크기와 menton plane angle의 상관관계 및 회귀 분석
- 나) 기능단위 벡터의 방향코사인과 menton plane angle의 상관관계
- 다) 기능단위 벡터들의 합벡터의 크기와 menton plane angle의 상관관계
- 라) 기능단위 벡터들 간의 사잇각과 menton plane angle의 상관관계 및 회귀 분석

9. 방법 오차(method error) 및 통계 처리

동일한 하악골에서 기준점을 지정하는 과정의 발생 오차를 방법 오차(method of error, E)로 평가하였다. 이를 위하여 Simplant에서 해부학적 기준점(CON, COR, GO, F, MF, Pog)을 저자가 1주 간격으로 총 20회 지정하고 Dahlberg's formula로 계산하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$E = \sqrt{\sum(D^2/2N)}$$

(D : Difference of measured value, N = number of measurement)

또 SPSS version 18.0(Statistical Package for the Social Science Inc., Chicago, IL, U.S.A.)을 사용하여 기준점들과 계측 항목들에 대하여 다음 통계분석을 시행하였으며, P value가 0.05 이하일 경우 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

- (1) 기능단위 벡터의 크기와 방향성에 대한 정상 대조군, 하악골 후퇴증군, 하악골 전돌증군의 비교(one way ANOVA)
- (2) 기능단위 벡터들의 합벡터의 크기에 대한 정상 대조군, 하악골 후퇴증군, 하악골 전돌증군의 비교(one way ANOVA)

- (3) 인접한 기능단위 벡터들 간 이루는 각도에 대한 정상 대조군, 하악골 후퇴증군, 하악골 전돌증군의 비교(one way ANOVA)
- (4) 상관 관계 분석(Pearson 상관분석) 및 회귀 분석(multiple linear regression)

Ⅲ. 연구 결과

1. 조사자 내 오차 검정

기준점 지정의 오차를 검정한 결과 모든 계측치는 통계적으로 유의차가 없었다. 이때 CON, COR, GO, F, MF, Pog에 대한 평균 거리 차이는 각각 0.17, 0.36, 0.47, 0.18, 0.09, 0.19mm였다 (상세한 결과는 표시하지 않았음).

2. Menton plane angle

C3 평면과 menton 평면 사이의 각도인 menton plane angle이 하악골의 전돌증, 또는 후퇴증 등 전후방적 하악골 기형과 적절한 관계를 보이는지 확인하기 위하여, 각 그룹의 사잇각에 대한 일원배치 분산분석을 시행하였다. 그 결과 menton plane angle은 제1군 $87.8 \pm 1.5^\circ$, 제2군 $78.1 \pm 2.9^\circ$, 제3군 $93.4 \pm 2.7^\circ$ 를 보였고 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p=.000$, Table 4). 또 집단 간의 유의한 차이를 확인하기 위해 사후 검정인 Scheffe 분석을 실시하였으며 각 군간의 유의한 차이를 확인하였다. Steiner 분석의 ANB difference 와 상관관계 분석결과 매우 높은 상관관계 ($R^2=-.907$, $p<0.001$) 보여 적절한 변수로 판단되었다.

Table 4. Comparison of the menton plane angles between groups.

Variables	Group I	Group II	Group III	p^*	Scheffe	Correlation coefficient
Menton plane angle (°)	87.8±1.5	78.1±2.9	93.4±2.7	.000	II<I<III	-0.907**

* p : one-way ANOVA between group I, II, III, **: $p < 0.001$

3. 계측 항목의 분석

가. 벡터 기준점의 위치 분석

기준점 CON의 횡적 위치는 제2군이 제1군보다 유의하게 작았지만, 전후방 위치는 컸고 수직 위치는 작아서, 제 2군 CON이 다른 군보다 전방, 상방에 위치하였다. 또 기준점 F의 횡적, 전후방, 수직 위치 모두 제2군이 가장 작아서, 상대적으로 후방, 상방, 내측에 위치하는 경향을 보였다. 마지막으로 기준점 MF의 횡적, 전후방 위치도 기준점 F와 마찬가지로 제2군이 가장 작았으나, 수직 위치는 차이가 없었다 (Table 5).

Table 5. Comparison of starting point discrepancy for the vectors of functional unit

Point	Group I	Group II	Group III	<i>P</i>	Multiple Comparison	
CON	X	53.2±2.9	51.4±3.2	51.3±3.0	.01	II,III<I**
	Y	30.6±3.1	33.6±3.0	31.5±3.1	.000	I,III<II**
	Z	30.9±3.3	28.1±4.1	30.6±4.4	.000	II<I,III**
F	X	43.3±2.1	41.1±2.1	42.7±2.8	.000	II<I,III**
	Y	45.2±2.9	43.4±3.7	51.3±4.8	.000	II<I<III***
	Z	66.1±3.9	59.0±7.2	66.9±6.4	.000	II<I,III***
MF	X	24.5±1.9	22.8±1.9	23.7±1.7	.000	II<I**
	Y	94.2±5.1	80.6±8.3	103.7±8.2	.000	II<I<III***
	Z	96.9±4.9	96.2±6.6	97.9±6.9	.377	

P: one-way ANOVA between group I, II, III, **: Scheffe test, ***: Dunnett's T3 test

나. 기능단위 벡터의 분석

각 기능단위 벡터의 크기와 방향을 절대 크기 및 방향 코사인으로 분석하고, 이들을 menton plane angle과의 관계를 확인하였다. 각 벡터에 대한 결과는 아래에 기능단위별로 각각 설명한다. 이때 $\overrightarrow{\text{Vector}}$ 의 방향코사인이 $0 < \cos(\theta_x), \cos(\theta_y), \cos(\theta_z) < 1$ 일 때, $\overrightarrow{\text{Vector}}$ 가 각각 내측, 전방, 하방으로 향하고, 방향코사인의 값이 1에 근접할수록 해당 축에 근접하는 방향을 가진다고 판단하였다.

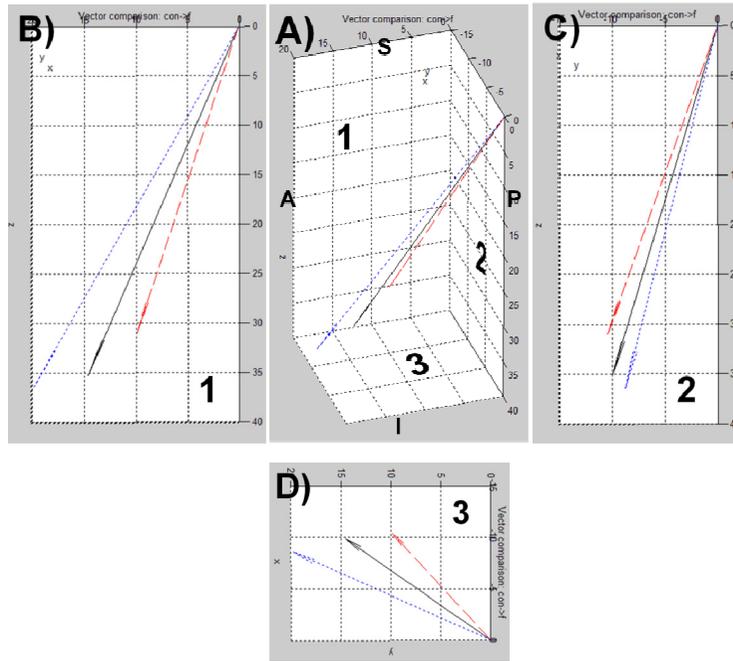
(1) 과두 벡터 (Condylar vector)

과두 벡터 \overrightarrow{CON} 의 평균 크기는 제1군에서 $39.5 \pm 3.2\text{mm}$, 제2군에서 $34.2 \pm 5.1\text{mm}$, 제3군에서 $42.5 \pm 4.8\text{mm}$ 로 제1군에 비해 제2군은 작고 제3군은 더 컸으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Fig 8, $p < 0.001$). 또 과두벡터 크기는 menton angle plane과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.693$, $p < 0.001$).

\overrightarrow{CON} 의 방향을 분석하면, 과두 벡터는 내측, 전방, 하방으로 기울어져 있으며, 내측으로 향하는 방향성을 나타내는 $\cos(\theta_x)$ 는 제1군이 -0.25 ± 0.06 , 제2군이 -0.31 ± 0.06 , 제3군이 -0.21 ± 0.06 이었고, 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Fig 8D, $p < 0.001$). 이들은 menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.619$, $p < 0.001$).

$\cos(\theta_y)$ 는 제1군 0.37 ± 0.05 , 제2군 0.29 ± 0.08 , 제3군 0.46 ± 0.06 로 제2군, 제1군, 제3군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Fig 8B, $p < 0.001$). menton plane angle과는 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.793$, $p < 0.001$).

$\cos(\theta_z)$ 는 제1군 0.89 ± 0.03 , 제2군 0.90 ± 0.02 , 제3군 0.86 ± 0.04 였다. 사후 검정으로 제3군이 다른 군보다 작고 통계적으로 유의한 차이를 가졌다(Fig 8C, $p < 0.01$). 또 menton plane angle과는 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다 ($R^2 = -0.519$, $p < 0.001$).



Vector	Group I	Group II	Group III	P	Multiple Comparison	Correlation coefficient	β
$ \overline{CON} $	39.5 ± 3.2	34.2 ± 5.1	42.5 ± 4.8	.000	II<I<III**	.693*	.465*
\overline{CON}							
$\cos(\theta_x)$	-0.25 ± 0.06	-0.31 ± 0.06	-0.21 ± 0.06	.000	III<I<II**	.619*	
$\cos(\theta_y)$	0.37 ± 0.05	0.29 ± 0.08	0.46 ± 0.06	.000	II<I<III**	.793*	
$\cos(\theta_z)$	0.89 ± 0.03	0.90 ± 0.02	0.86 ± 0.04	.000	III<I,II***	-.519*	

*: $p=.000$, **: Scheffe test, ***:Dunnett's T3 test

Fig 8. Schematic drawing of \overline{CON} for all three groups

A) Schematic drawing of \overline{CON} of each groups in 3-dimensional space

B, C, D) Schematic drawing of \overline{CON} of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane

Black(group I), red(group II), blue(group III)

Table 6. Comparison between the size and direction of condylar vector

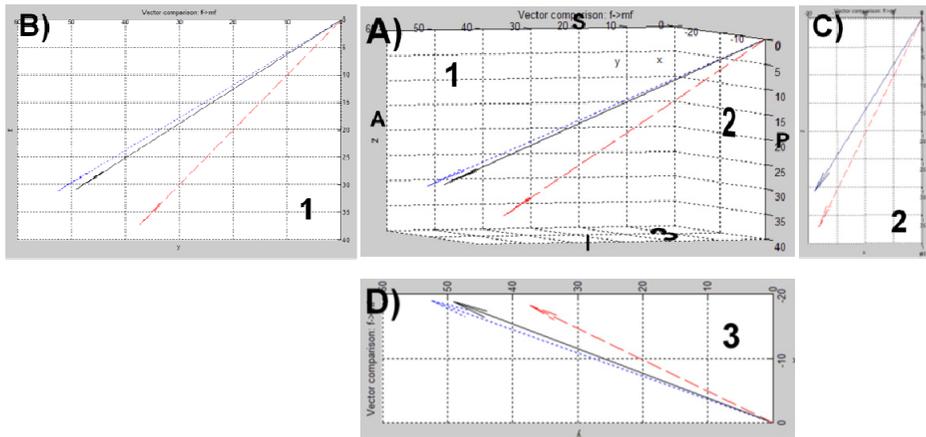
(2) 하악체 벡터 (Body vector)

하악체 벡터 \overline{BD} 의 평균 크기는 제1군이 $61.0 \pm 4.4\text{mm}$, 제2군이 $56.1 \pm 3.9\text{mm}$, 그리고 제3군이 $64.0 \pm 5.0\text{mm}$ 였다. 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.001$), menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.614$, $p < 0.001$).

\overline{BD} 은 일반적으로 내측, 전방, 하방으로 기울어져 있으며, 내외측 방향 지표인 $\cos(\theta_x)$ 는 제1군 -0.31 ± 0.03 , 제2군 -0.33 ± 0.04 , 제3군 -0.30 ± 0.04 이었다. 사후 검정 결과 제2군이 제3군에 비하여 유의하게 큰 것을 확인했으며 ($p < 0.001$), 상관 관계 분석 결과 menton plane angle과 다소의 상관관계를 가졌다 ($R^2 = 0.424$, $p < 0.001$).

$\cos(\theta_y)$ 는 제1군이 0.80 ± 0.04 , 제2군이 0.66 ± 0.08 , 제3군이 0.82 ± 0.04 로 제2군이 다른 군보다 통계적으로 유의하게 작았다 ($p < 0.001$). 그리고 $\cos(\theta_y)$ 는 menton plane angle과 높은 상관관계를 가져서 상관계수 R^2 은 0.844 ($p < 0.001$)였다.

수직적 방향을 나타내는 $\cos(\theta_z)$ 는 제1군이 0.50 ± 0.05 , 제2군이 0.66 ± 0.07 , 제3군이 0.48 ± 0.07 이었고, 제2군이 다른 군에 비해 통계적으로 유의하게 하여 컸다($p < 0.001$). 또 menton plane angle과도 높은 음의 상관관계를 보였다($R^2 = -0.837$, $p < 0.001$).



$\overrightarrow{\text{Vector}}$	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient	β
$ \overline{\text{BD}} $	61.0 ± 4.4	56.1 ± 3.9	64.0 ± 5.0	.000	II<I<III**	.614*	.282*
$\overline{\text{BD}}$	$\cos(\theta_x)$	-0.31 ± 0.03	-0.33 ± 0.04	-0.30 ± 0.04	.000	II<III**	.424*
	$\cos(\theta_y)$	0.80 ± 0.04	0.66 ± 0.08	0.82 ± 0.04	.000	II<I,III***	.844*
	$\cos(\theta_z)$	0.50 ± 0.05	0.66 ± 0.08	0.48 ± 0.07	.000	I,III<II***	-.837*

*: $p=.000$, **: Scheffe test, ***:Dunnett's T3 test

Fig 9. Schematic drawing of $\overline{\text{BD}}$ for all three groups

A) Schematic drawing of $\overline{\text{BD}}$ of each groups in 3-dimensional space

B, C, D) Schematic drawing of $\overline{\text{BD}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane

Black (group I), red (group II), blue (group III)

Table 7. Comparison between the size and direction of body vector

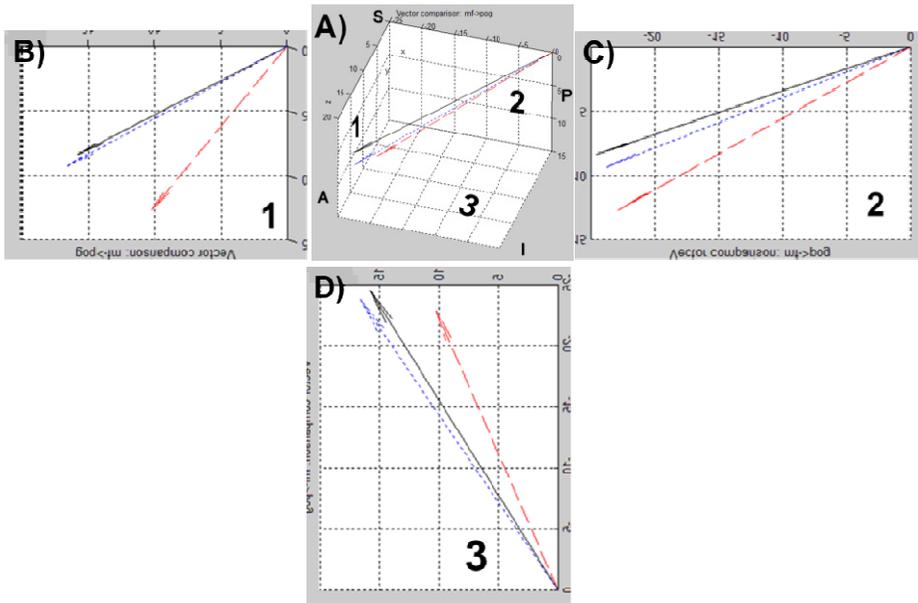
(3) 정중부 벡터 (Symphyseal vector)

정중부 벡터의 \overline{SYM} 의 평균 크기는 제1군이 $30.4 \pm 2.1\text{mm}$, 제2군이 $28.2 \pm 1.9\text{mm}$, 그리고 제3군이 $30.5 \pm 2.0\text{mm}$ 였으며, 제2군이 다른 군에 비해 통계적으로 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.548$, $p < 0.001$).

\overline{SYM} 은 일반적으로 내측, 전방, 하방으로 기울어져 있으며, 내외측 방향 지표인 $\cos(\theta_x)$ 는 제1군 -0.81 ± 0.02 , 제2군 -0.81 ± 0.03 , 제3군 -0.78 ± 0.03 이었다. 사후 검정 결과 제3군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). 상관 관계 분석 결과 menton plane angle과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.357$, $p < 0.001$).

$\cos(\theta_y)$ 는 제1군 0.52 ± 0.05 , 제2군 0.36 ± 0.08 , 제3군 0.54 ± 0.04 로 제3군, 제1군, 제2군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.001$), menton plane angle과 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.841$, $p < 0.001$).

수직적 방향을 나타내는 $\cos(\theta_z)$ 는 제1군 0.28 ± 0.08 , 제2군에서 0.45 ± 0.08 , 제3군에서 0.30 ± 0.07 로 사후 검정 결과 제2군이 다른 군에 비해 유의하게 컸다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.685$, $p < 0.001$).



$\overrightarrow{\text{Vector}}$	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient	β
$ \overline{\text{SYM}} $	30.4 ± 2.1	28.2 ± 1.9	30.5 ± 2.0	.000	II<I,III**	.548*	.239°
$\overline{\text{SYM}}$							
$\cos(\theta_x)$	-0.81 ± 0.02	-0.81 ± 0.03	-0.78 ± 0.03	.000	III<I,II**	.357*	
$\cos(\theta_y)$	0.52 ± 0.05	0.36 ± 0.08	0.54 ± 0.04	.000	II<I<III***	.841*	
$\cos(\theta_z)$	0.28 ± 0.08	0.45 ± 0.08	0.30 ± 0.07	.000	I,III<II**	-.685*	

*: $p=.000$, **: Scheffe test, ***:Dunnett's T3 test

Fig 10. Schematic drawing of $\overline{\text{SYM}}$ for all three groups

A) Schematic drawing of $\overline{\text{SYM}}$ of each groups in 3-dimensional space

B, C, D) Schematic drawing of $\overline{\text{SYM}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane

Black (group I), red (group II), blue (group III)

Table 8. Comparison between the size and direction of symphyseal vector

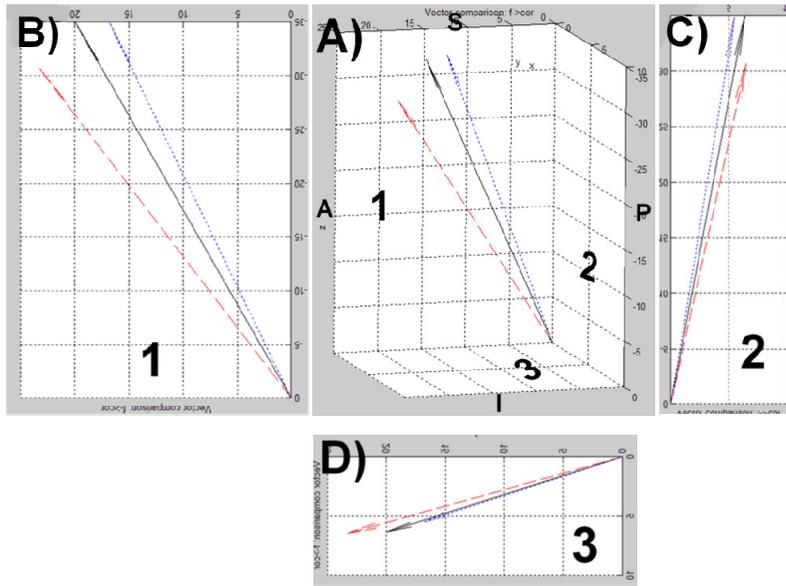
(4) 오혜돌기 벡터 (Coronoid vector)

오혜돌기 벡터 \overline{COR} 의 평균 크기는 제1군이 $41.1 \pm 3.9\text{mm}$, 제2군이 $39.7 \pm 3.7\text{mm}$, 그리고 제3군이 $39.5 \pm 4.2\text{mm}$ 였으며, 각 집단 간의 유의한 차이가 없었고($p=0.185$), Menton plane angle과 상관관계 분석상 통계적 유의성이 없었다($p=0.174$).

\overline{COR} 은 일반적으로 외측, 전방, 상방으로 기울어져 있으며, 내외측 방향 지표인 $\cos(\theta_x)$ 는 제1군 0.15 ± 0.06 , 제2군 0.16 ± 0.06 , 제3군 0.14 ± 0.05 로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며($p=0.154$), menton plane angle과 상관관계를 보이지 않았다($p=0.333$).

$\cos(\theta_y)$ 는 제1군 0.49 ± 0.10 , 제2군 0.59 ± 0.14 , 제3군 0.43 ± 0.12 로 제2군, 제1군, 제3군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.614$, $p < 0.001$).

수직적 방향을 나타내는 $\cos(\theta_z)$ 는 제1군 -0.85 ± 0.05 , 제2군 -0.77 ± 0.12 , 제3군 -0.88 ± 0.07 로 사후 검정 결과 제2군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.618$, $p < 0.001$).



Vector	Group I	Group II	Group III	<i>p</i>	Multiple Comparison	Correlation coefficient
$ \overline{\text{COR}} $	41.1±3.9	39.7±3.7	39.5±4.2	.185		
$\cos(\theta_x)$	0.15±0.06	0.16±0.06	0.14±0.05	.154		
$\cos(\theta_y)$	0.49±0.10	0.59±0.14	0.43±0.12	.000	III<I<II**	-.614*
$\cos(\theta_z)$	-0.85±0.05	-0.77±0.12	-0.88±0.07	.000	II<I,III***	-.618*

*: $p=.000$, **: Scheffe test, ***:Dunnett's T3 test

Fig 11. Schematic drawing of $\overline{\text{COR}}$ of each groups

- A) Schematic drawing of $\overline{\text{COR}}$ of each groups in 3-dimensional space
- B, C, D) Schematic drawing of $\overline{\text{COR}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane
- Black(group I), red(group II), blue(group III)

Table 9. Comparison between the size and direction of coronoid vector

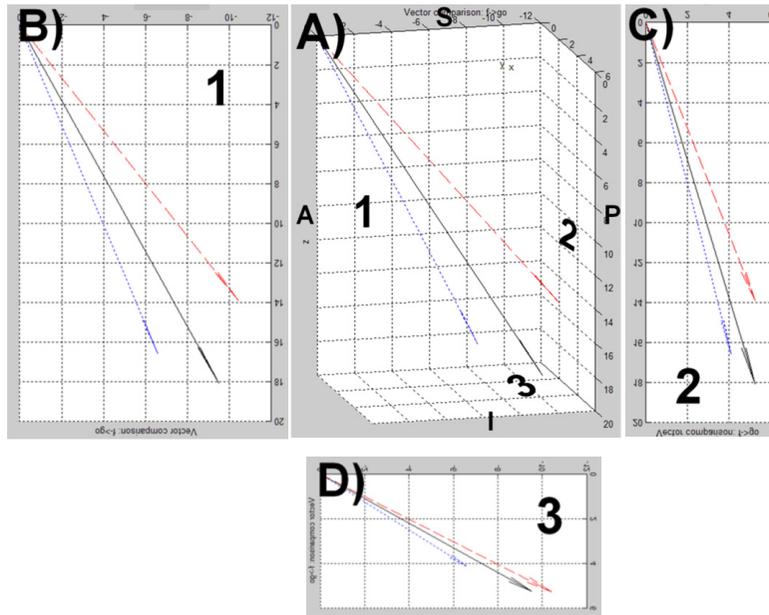
(5) 하악각 벡터 (Gonial vector)

하악각 벡터 \overline{GO} 의 평균 크기는 제1군이 $21.6 \pm 4.2\text{mm}$, 제2군이 $18.6 \pm 2.5\text{mm}$, 그리고 제3군이 $19.0 \pm 2.9\text{mm}$ 였으며, 사후 검정 결과 제1군이 다른 군에 비하여 유의하게 컸다($p < 0.001$). Menton plane angle과 상관관계 분석상 통계적 유의성이 없었다($p = 0.293$).

\overline{GO} 은 일반적으로 외측, 후방, 하방으로 기울어져 있으며, 내외측 방향 지표인 $\cos(\theta_x)$ 는 제1군 0.25 ± 0.10 , 제2군 0.29 ± 0.11 , 제3군 0.22 ± 0.14 로 사후 검정 결과 제3군에서 제2군에 비하여 외측으로 향하는 방향비가 작고, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p = 0.024$). menton plane angle 과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.192$, $p = 0.027$).

$\cos(\theta_y)$ 는 제1군 -0.44 ± 0.15 , 제2군 -0.57 ± 0.14 , 제3군 -0.37 ± 0.21 로 사후 검정 결과 제2군이 다른 군에 비하여 유의하게 컸다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.468$, $p < 0.001$).

수직적 방향을 나타내는 $\cos(\theta_z)$ 는 제1군 0.84 ± 0.10 , 제2군 0.74 ± 0.12 , 제3군 0.86 ± 0.12 로 사후 검정 결과 제2군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.428$, $p < 0.001$).



\vec{GO}	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient
$ \vec{GO} $	21.6 ± 4.2	18.6 ± 2.5	19.0 ± 2.9	.000	II,III<I***	
$\cos(\theta_x)$	0.25 ± 0.10	0.29 ± 0.11	0.22 ± 0.14	.024	III<II***	$-.192^\circ$
$\cos(\theta_y)$	-0.44 ± 0.15	-0.57 ± 0.14	-0.37 ± 0.21	.000	III,I<II****	.468**
$\cos(\theta_z)$	0.84 ± 0.10	0.74 ± 0.12	0.86 ± 0.12	.000	II<I,III***	.428**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.001$, ***: Scheffe test, ****: Dunnett's T3 test

Fig 12. Schematic drawing of \vec{GO} of each groups

A) Schematic drawing of \vec{GO} of each groups in 3-dimensional space

B, C, D) Schematic drawing of \vec{GO} of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane

Black(group I), red(group II), blue(group III)

Table 10. Comparison between the size and direction of gonial vector

(6) 기능단위 벡터의 크기와 menton plane angle의 관계 분석

하악골의 전후방적 변위 정도를 나타내는 종속변수인 menton plane angle에 대하여 상관관계를 보이는 과두, 하악체, 정중부 벡터의 크기가 독립변수로서 영향을 미칠 것이라는 가정 하에 검정하였고, 그 결과 모두 통계적 유의수준 하에서 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 표준화 계수는 0.465, 0.282, 0.239로 과두돌기 벡터, 하악체 벡터, 정중부 벡터의 크기 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(7) 성별에 따른 벡터 비교

벡터의 방향성 및 벡터 간의 이루는 각도의 성별간의 차이를 알아보기 위하여, 종속변수로 사용된 menton plane angle에 대하여 독립 t검정을 시행하였으나, 남녀의 차이를 보이지 않았다. 그러나 하악골 기능단위 벡터의 크기를 독립 t검정을 이용하여 비교분석하였을 때, 성별에 따른 분명한 차이를 보였다.

Table 11. Comparison of the size of vectors of functional unit between genders

	$ \overrightarrow{\text{Vector}} $	Male	Female	<i>p</i>
CF1Me angle	I	88.0±1.2	87.4±1.9	.280
	II	78.3±2.0	78.0±3.1	.676
	III	93.6±2.4	93.1±3.1	.539
$ \overrightarrow{\text{CON}} $	I	40.4±3.0	37.2±2.3	.005
	II	39.2±3.5	32.4±4.4	.000
	III	43.9±3.4	40.0±5.7	.015
$ \overrightarrow{\text{BD}} $	I	62.1±4.6	58.4±2.5	.005
	II	60.5±2.0	54.4±3.1	.000
	III	66.3±4.2	60.3±3.7	.000
$ \overrightarrow{\text{SYM}} $	I	30.4±2.3	30.4±1.4	.987
	II	28.7±1.8	28.0±1.9	.265
	III	31.2±1.4	29.4±2.4	.009
$ \overrightarrow{\text{COR}} $	I	41.5±3.6	39.9±4.6	.273
	II	43.1±2.9	38.5±3.1	.000
	III	41.3±3.5	36.5±3.4	.000
$ \overrightarrow{\text{GO}} $	I	22.8±4.4	18.8±2.0	.010
	II	19.3±2.3	18.3±2.5	.211
	III	19.7±3.2	17.8±1.7	.010

다. 기능단위 합벡터의 크기 분석

개개의 기능단위 벡터 뿐 아니라, 각 기능단위 벡터 간의 관계 또한 하악골 형태에 따른 차이가 있을 것이다. 인접한 기능단위 벡터 간의 관계는 합벡터의 크기와 사잇각으로 정해질 수 있으며 먼저 인접 벡터 간 합벡터의 크기 분석을 시행하였다.

Table 12. Comparison between the size of the vector sum

$ \overline{\text{Vector}} $	Group I	Group II	Group III	<i>P</i>	Multiple Comparison	Correlation coefficient
$ \overline{\text{CON}} + \overline{\text{BD}} $	96.3±5.0	87.9±6.8	102.8±7.0	.000	II<I<III***	.739**
$ \overline{\text{BD}} + \overline{\text{SYM}} $	87.4±4.4	80.6±4.6	90.8±6.0	.000	II<I<III***	.676**
$ \overline{\text{CON}} + \overline{\text{COR}} $	35.2±2.8	33.8±3.0	37.2±4.5	.000	II<III****	.345**
$ \overline{\text{CON}} + \overline{\text{GO}} $	54.1±5.1	45.5±5.8	55.0±5.3	.000	II<I,III***	.659**
$ \overline{\text{BD}} - \overline{\text{GO}} $	64.8±5.1	58.4±4.2	65.3±4.2	.000	II<I,III***	.593**
$ \overline{\text{CON}} + \overline{\text{BD}} + \overline{\text{SYM}} $	121.3±5.2	112.0±7.1	128.3±8.1	.000	II<I<III****	.749**

p* : One-way ANOVA between group I, II, III, **: *p*<0.001, *: Scheffe test, ****: Dunnett's T3 test

(1) $\overline{CON} + \overline{BD}$

과두 벡터와 하악체 벡터의 합벡터의 크기는 제1군에서 $96.3 \pm 5.0\text{mm}$, 제2군에서 $87.9 \pm 6.8\text{mm}$, 제3군에서 $102.8 \pm 7.0\text{mm}$ 였다. 제3군, 제1군, 제2군의 순서로 컸고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과도 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.739$, $p < 0.001$).

(2) $\overline{BD} + \overline{SYM}$

하악체 벡터와 정중부 벡터의 합벡터 크기는 제1군에서 $87.4 \pm 4.4\text{mm}$, 제2군에서 $80.6 \pm 4.6\text{mm}$, 제3군에서 $90.8 \pm 6.0\text{mm}$ 로 제3군, 제1군, 제2군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.676$, $p < 0.001$).

(3) $\overline{CON} + \overline{COR}$

과두 벡터와 오혜돌기 벡터의 합벡터의 크기는 제1군에서 $35.2 \pm 2.8\text{mm}$, 제2군에서 $33.8 \pm 3.0\text{mm}$, 제3군에서 $37.2 \pm 4.5\text{mm}$ 로 사후검정 결과 제2군에 비해 제3군에서 통계적으로 유의하게 큰 값을 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.345$, $p < 0.001$).

(4) $\overline{CON} + \overline{GO}$

과두 벡터와 하악각 벡터의 합벡터의 크기는 제1군에서 $54.1 \pm 5.1\text{mm}$, 제2군에서 $45.5 \pm 5.8\text{mm}$, 제3군에서 $55.0 \pm 5.3\text{mm}$ 로 사후검정 결과

제2군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.659$, $p < 0.001$).

(5) $\overline{BD} - \overline{GO}$

하악체 벡터와 하악각 벡터의 차벡터의 크기는 제1군에서 $64.8 \pm 5.1\text{mm}$, 제2군에서 $58.4 \pm 4.2\text{mm}$, 제3군에서 $65.3 \pm 4.2\text{mm}$ 로 사후검정 결과 제2군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.593$, $p < 0.001$).

(6) $\overline{CON} + \overline{BD} + \overline{SYM}$

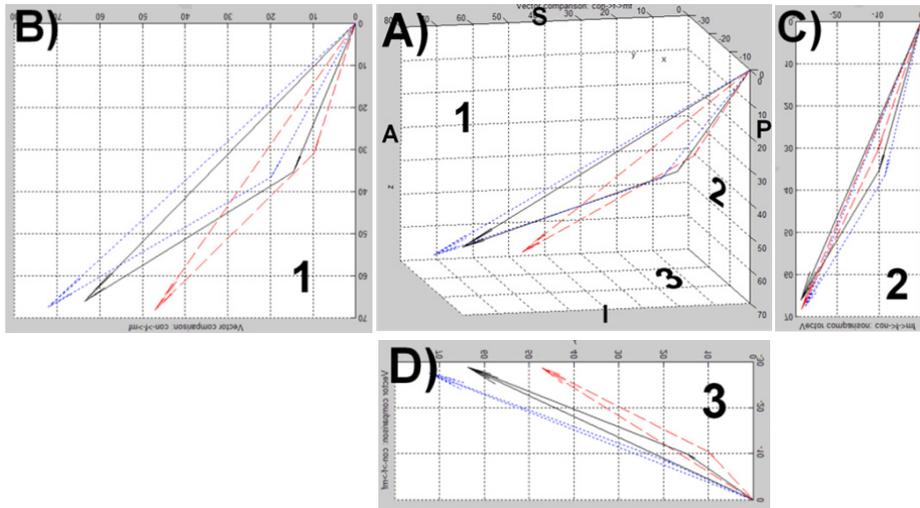
과두 벡터와 하악체 벡터와 정중부 벡터의 합벡터의 크기는 제1군에서 $121.3 \pm 5.2\text{mm}$, 제2군에서 $112.0 \pm 7.1\text{mm}$, 제3군에서 $128.3 \pm 8.1\text{mm}$ 로 제3군, 제1군, 제2군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.749$, $p < 0.001$).

라. 인접 벡터간 이루는 각도에 대한 분석

기능단위 벡터 간의 관계 분석을 위하여 인접 벡터간 이루는 각도에 대한 분석을 시행하였다.

(1) $\angle \overline{CON} \& \overline{BD}$

과두 벡터와 하악체 벡터를 수평평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $167.1 \pm 6.2^\circ$, 제2군에서 $159.5 \pm 8.9^\circ$, 제3군에서 $173.6 \pm 4.1^\circ$ 로 제3군, 제1군, 제2군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.678$, $p < 0.001$). 시상평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $145.1 \pm 4.0^\circ$, 제2군에서 $153.0 \pm 6.2^\circ$, 제3군에서 $149.1 \pm 4.1^\circ$ 로 제2군, 제3군, 제1군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.417$, $p < 0.001$). 관상평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $164.6 \pm 4.1^\circ$, 제2군에서 $171.8 \pm 4.4^\circ$, 제3군에서 $161.8 \pm 5.9^\circ$ 로 제2군, 제1군, 제3군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.692$, $p < 0.001$).



$\angle \overline{\text{Vector1}} \& \overline{\text{Vector2}}$	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient	β	
θ_{XY}	167.1 ± 6.2	159.5 ± 8.9	173.6 ± 4.1	.000	II<I<III***	.678**	.266*	
$\angle \overline{\text{CON}} \& \overline{\text{BD}}$	θ_{YZ}	145.1 ± 4.0	153.0 ± 6.2	149.1 ± 4.1	.000	I<III<II***	-.417**	-.217**
θ_{ZX}	164.6 ± 4.1	171.8 ± 4.4	161.8 ± 5.9	.000	III<I<II***	-.692**		

*: $p < 0.01$, **: $p < 0.001$, ***: Dunnett's T3 test

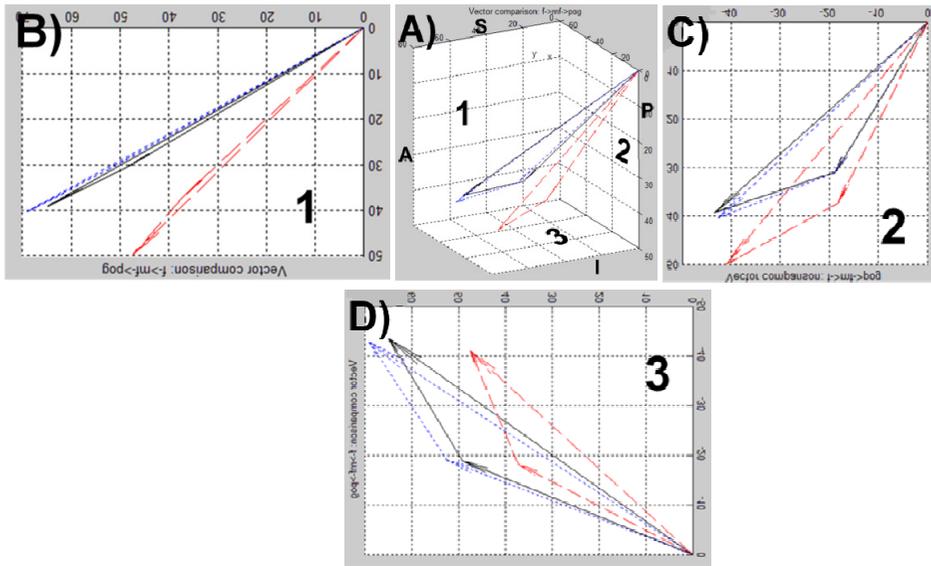
Fig 13. Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{BD}}$ of each groups

- A) Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{BD}}$ of each groups in 3-dimensional space
- B, C, D) Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{BD}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane
- Black (group I), red (group II), blue (group III)

Table 13. Comparison between the angle composed by condylar and body vectors

(2) $\angle \overline{BD}$ & \overline{SYM}

하악체 벡터와 정중부 벡터를 수평평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $143.6 \pm 1.9^\circ$, 제2군에서 $140.2 \pm 4.3^\circ$, 제3군에서 $144.8 \pm 3.3^\circ$ 로 제2군의 경우 다른 군에 비하여 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.432$, $p < 0.001$). 시상평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $173.1 \pm 5.4^\circ$, 제2군에서 $171.9 \pm 5.4^\circ$, 제3군에서 $175.2 \pm 3.8^\circ$ 로 사후검정 결과 제3군이 제2군에 비해 유의하게 컸다($p = 0.004$). menton plane angle과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.260$, $p < 0.01$). 관상평면에서 이루는 각도는 제1군에서 $140.2 \pm 6.7^\circ$, 제2군에서 $145.2 \pm 5.2^\circ$, 제3군에서 $143.0 \pm 5.2^\circ$ 로 사후검정 결과 제2군이 제1군에 비해 유의하게 컸다($p = 0.001$). menton plane angle과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.258$, $p < 0.01$).



$\angle \overrightarrow{\text{Vector1}} \& \overrightarrow{\text{Vector2}}$	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient	β
θ_{XY}	143.6 ± 1.9	140.2 ± 4.3	144.8 ± 3.3	.000	II<I,III****	.432**	.199**
$\angle \overrightarrow{\text{BD}} \& \overrightarrow{\text{SYM}} \quad \theta_{YZ}$	173.1 ± 5.4	171.9 ± 5.4	175.2 ± 3.8	.004	II<III****	.260*	
θ_{ZX}	140.2 ± 6.7	145.2 ± 5.2	143.0 ± 5.2	.001	I<II***	-.258*	

*: $p < 0.01$, **: $p < 0.001$, ***: Scheffe test, ****: Dunnett's T3 test

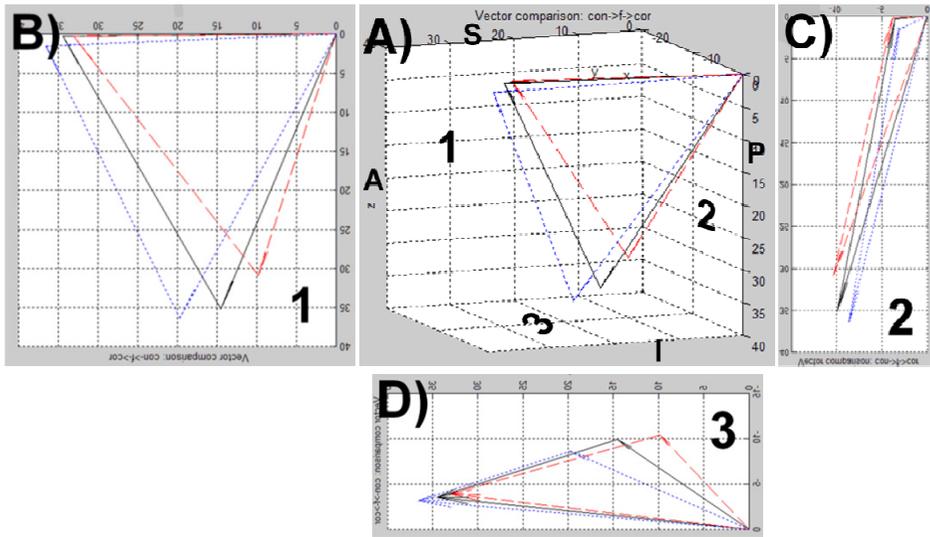
Fig 14. Schematic drawing of $\overrightarrow{\text{BD}}$ & $\overrightarrow{\text{SYM}}$ for all three groups

- A) Schematic drawing of $\overrightarrow{\text{BD}}$ & $\overrightarrow{\text{SYM}}$ of each groups in 3-dimensional space
- B, C, D) Schematic drawing of $\overrightarrow{\text{BD}}$ & $\overrightarrow{\text{SYM}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane
- Black (group I), red (group II), blue (group III)

Table 14. Comparison between the angle composed by body and symphyseal vectors

(3) $\angle \overrightarrow{CON} \& \overrightarrow{COR}$

과두 벡터와 오웬돌기 벡터를 수평평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $127.9 \pm 9.0^\circ$, 제2군에서 $116.6 \pm 9.1^\circ$, 제3군에서 $137.2 \pm 11.9^\circ$ 로 제3군, 제1군, 제2군의 순서였고, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.621$, $p < 0.001$). 시상평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 각 군간 통계적으로 유의한 차이가 없었으며($p = 0.361$), menton plane angle과 상관관계가 없었다($R^2 = -0.180$, $p < 0.05$). 관상평면에서 이루는 각도는 제1군에서 $7.2 \pm 5.9^\circ$, 제2군에서 $7.5 \pm 4.3^\circ$, 제3군에서 $5.0 \pm 4.2^\circ$ 로 사후검정 결과 제2군이 제3군에 비해 유의하게 컸다($p = 0.024$). menton plane angle과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.252$, $p < 0.01$).



$\angle \overline{\text{Vector1}} \& \overline{\text{Vector2}}$		Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient
θ_{XY}	$\angle \overline{\text{CON}} \& \overline{\text{COR}}$	127.9 ± 9.0	116.6 ± 9.1	137.2 ± 11.9	.000	II<I<III****	.621***
θ_{YZ}		53.1 ± 7.3	55.7 ± 9.2	54.7 ± 7.1	.361		-.180*
θ_{ZX}		7.2 ± 5.9	7.5 ± 4.3	5.0 ± 4.2	.024	III<II****	-.252**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, ****: Dunnett's T3 test

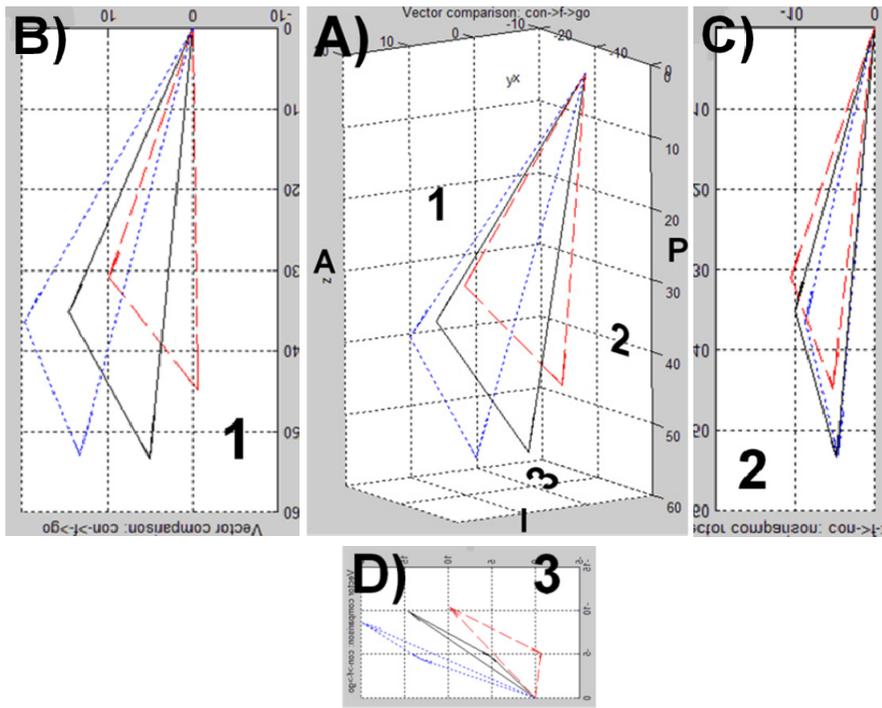
Fig 15. Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{COR}}$ for all three groups

- A) Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{COR}}$ of each groups in 3-dimensional space
- B, C, D) Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{COR}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane
- Black (group I), red (group II), blue (group III)

Table 15. Comparison between the angle composed by condylar and coronoid vectors

(4) $\angle \overline{CON} \& \overline{GO}$

과두부 벡터와 하악각 벡터를 수평평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $2.9 \pm 14.3^\circ$, 제2군에서 $19.3 \pm 18.7^\circ$, 제3군에서 $-12.4 \pm 21.9^\circ$ 로 제2군, 제1군, 제3군의 순서였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 음의 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.644$, $p < 0.001$). 시상평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 각 군에 따라 유의한 차이가 없으며, menton plane angle과도 상관관계가 없었다. 관상평면에서 이루는 각도는 제1군에서 $146.9 \pm 8.3^\circ$, 제2군에서 $139.6 \pm 9.4^\circ$, 제3군에서 $151.5 \pm 11.3^\circ$ 로 사후검정 결과 제2군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 가졌다($R^2 = 0.459$, $p < 0.001$).



$\angle \overline{\text{Vector1}} \& \overline{\text{Vector2}}$	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient	β
θ_{xy}	2.9 ± 14.3	19.3 ± 18.7	-12.4 ± 21.9	.000	III<I,II***	-.644**	-.378**
$\angle \overline{\text{CON}} \& \overline{\text{GO}}$							
θ_{yz}	130.1 ± 8.7	124.7 ± 10.5	128.2 ± 13.7	.085			
θ_{zx}	146.9 ± 8.3	139.6 ± 9.4	151.5 ± 11.3	.000	II<I,III***	.459**	.190*

*: $p < 0.01$, **: $p < 0.001$, ***: Scheffe test

Fig 16. Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{GO}}$ for all three groups

A) Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{GO}}$ of each groups in 3-dimensional space

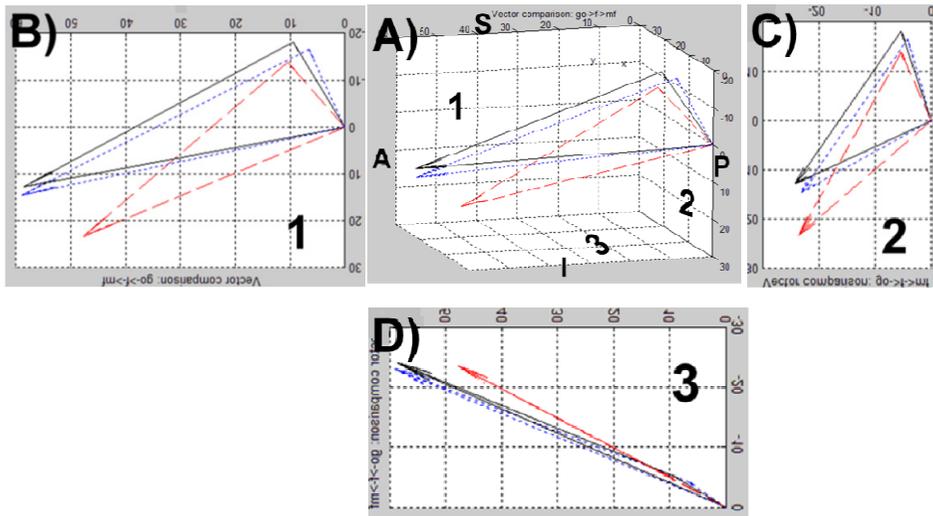
B, C, D) Schematic drawing of $\overline{\text{CON}}$ & $\overline{\text{GO}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane

Black(group I), red(group II), blue(group III)

Table 16. Comparison between the angle composed by condylar and gonial vectors

(5) $\angle \overline{BD} \& \overline{GO}$

하악체 벡터와 하악각 벡터를 수평평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 제1군에서 $167.3 \pm 10.2^\circ$, 제2군에서 $169.3 \pm 8.2^\circ$, 제3군에서 $157.2 \pm 17.4^\circ$ 로 사후검정 결과 제3군이 다른 군에 비해 유의하게 작았다($p < 0.001$). menton plane angle과 낮은 상관관계를 가졌다($R^2 = -0.356$, $p < 0.001$). 시상평면 및 관상평면에 투영시킨 상이 이루는 각도는 각 군간의 유의한 차이가 없으며, 상관관계 분석상 통계적 유의성이 없었다.



$\angle \overrightarrow{\text{Vector1}} \& \overrightarrow{\text{Vector2}}$	Group I	Group II	Group III	p	Multiple Comparison	Correlation coefficient	
θ_{XY}	167.3 ± 10.2	169.3 ± 8.2	157.2 ± 17.4	.000	III<I,II**	-.356*	
$\angle \overrightarrow{\text{BD}} \& \overrightarrow{\text{GO}}$	θ_{YZ}	84.8 ± 10.1	82.2 ± 10.2	82.8 ± 13.9	.594		.072
θ_{ZX}	48.5 ± 7.8	47.8 ± 9.5	46.6 ± 11.4	.657		-.012	

*: $p < 0.001$, **:Dunnett's T3 test

Fig 17. Schematic drawing of $\overrightarrow{\text{BD}}$ & $\overrightarrow{\text{GO}}$ for all three groups

A) Schematic drawing of $\overrightarrow{\text{BD}}$ & $\overrightarrow{\text{GO}}$ of each groups in 3-dimensional space

B, C, D) Schematic drawing of $\overrightarrow{\text{BD}}$ & $\overrightarrow{\text{GO}}$ of each groups in the sagittal, frontal, horizontal plane

Black (group I), red (group II), blue (group III)

Table 17. Comparison between the angle composed by body and gonial vectors

Menton plane angle과 다소 높은 상관관계를 보이는 각 기능단위 벡터들이 각 기준평면 상에서 이루는 각도가 독립변수로서 영향을 미칠 것이라는 가설 하에 후진 제거법을 이용한 다중회귀분석 검정 결과 과두와 하악각 벡터의 수평평면 상에서 이루는 각도, 과두와 하악체 벡터의 수평평면이나 시상평면에서 이루는 각도, 하악체 벡터와 정중부 벡터의 수평평면 상에서 이루는 각도, 과두와 하악각 벡터의 관상평면상에서 이루는 각도가 서술한 순서대로 menton plane angle에 양(+) 또는 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

하악골의 형태는 유전적, 환경적 원인에 모두 영향을 받을 수 있고(Lavelle et al., 1985), Treacher-collins 증후군, Hallermann-Streiff 증후군과 같은 선천적 원인과 하악 과두의 외상이나 감염, 퇴행성 관절질환과 같은 후천성 원인이 모두 영향을 줄 수 있다(Gorlin, 1971). 그러나 이들 선천적 결함이나 외상으로 인한 경우는 하악골 기형 전체의 5% 미만에 해당되며, 나머지는 성장 과정의 이상이 원인인 발육성 기형이 대부분을 차지한다.

예로부터 하악골의 성장에서 과두 연골은 주요 성장점으로 생각되었다. 그러나, 과두 연골의 성장은 일반적인 장골의 성장과는 차이가 있어 발육성 기형에서의 정확한 역할은 아직 밝혀지지 않고 있다(Sicher, 1947). Moss는 골격단위(skeletal unit)의 크기, 형태 및 위치 변화가 각 단위에 작용하는 기능적 기질(functional matrix)에 영향을 받는다는 기능적 기질 이론(Functional matrix theory)을 주장하였다 (Moss and Rankow, 1968). 또 Mew 등도 마찬가지로 근육 및 인접 골과의 위치 관계가 하악골의 크기, 형태 및 위치 변화에 가장 많은 영향을 미친다고 하였고(Mew, 2004), Cruz 등의 하악각 부위 성장에 대한 동물 실험 결과도 마찬가지였다(Cruz et al., 2009).

최근의 하악골 발생 연구에서도 태아기에서의 Meckel 연골 및 과두, 오웬돌기의 연골중심, Ossicula mentalia 등 개별 구조의 독립적인 성장이 주장 되었다(Przystańska et al., 2007; Radlanski et al., 2003). 따라서 하악골의 성장은 단순한 과두 연골의 성장의 결과가 아니라 발생 과정에서부터 시작하여 성장 과정에 이르기까지 독립적인 구조들의 독립적인 성장에 의한 것이라고 생각할 수 있다. 그리고 발육성 기형의 치료는 병인론적 분석이나 형태 및 구조 분석도 중요하지만, 각 독립 성장 구조 단위에 대하여 기형의 정도와 기여 정도를 감별하고 치료계획 수립에 반영하는 것이 필요하다고 하겠다.

일반적으로 하악골의 전후방 위치 및 크기 이상에 의한 기형 발생에 영향을 주는 요소로는 하악과두의 성장 이상(Ayoub and Mostafa, 1992; Bjrck and Skieller, 1983), 하악평면 및 교합평면의 기울기(Hong and Yi, 2001), 하악체의 발육성 신장(Singh et al., 1997), 하악골의 부피 차이(Deguchi et al., 2010) 등이 알려지고 있다. 이러한 요소들은 주변 구조체와 상호 작용하면서 하악골의 크기와 성장 방향에 영향을 미치고 결과적으로 다양한 하악골의 3차원적 구조 부조화가 발생한다고 할 수 있겠다.

이러한 하악골의 형태 및 구조 요소를 분석하기 위하여, 본 논문에서는 Moss의 기능적 기질 이론에 바탕을 둔 하악골 기능단위 분석(W. Park et al., 2010; You et al., 2010)에 벡터 개념을 새롭게 적용하여 하악골 기능단위 벡터 분석을 시도하였다. 일반적으로 벡터란 크기 값만을 갖는 스칼라와 달리, 크기와 방향 값을 동시에 갖는 유향 성분이다. 벡터들로 이루어진 공간을 벡터 공간 혹은 선형 공간이라 하는데(이준복, 2003), 이 논문에서는 three dimensional (3D) computerized tomogram (CT)에 의해 만들어진 3차원 구조체 하악골이 놓여지는 공간을 벡터 공간으로 간주하고, 하악골의 구조를 표현하는 하악골 기능단위 벡터를 설정하였다(박경란, 2012). 이를 통하여 3차원 구조체인 하악골의 복잡한 구조적 기형 패턴을 객관적으로 분석하고, 기형의 원인 부위를 파악할 수 있을 것으로 예상하였다. 벡터를 이용해 복잡한 하악골 구조체의 형태 및 위치를 수식화하고 비교할 수 있을 것이며, 성장량과 함께 성장 방향 역시 정량적으로 평가할 수 있을 것이다. 또 기능단위 벡터 간의 관계를 통해 구조 이상을 좀 더 확실하게 파악할 수 있고, 정상군, 하악골 후퇴증, 하악골 전돌증을 비교하여 하악골 기형에 미치는 기능단위의 영향을 객관적으로 확인할 수 있을 것이다.

이 연구 결과에 영향을 미칠 수 있는 방법 오차는 주로 기준점 지정의 재현성과 관련될 수 있는데, 일반적으로 2차원 영상보다 3차원 영상에서 보는 각도 차이에 의한 기준점 지정 오차가 더 크게 발생할 수 있기 때문이다. 이 연구에서 확인한 기준점 지정 오차 실험에 따르면 Go 점에서 0.46mm의

오차가 발생하여 다른 기준점의 0.09~0.36mm에 비해 상대적으로 컸다. 하악각과 같이 곡면 구조물에 위치하는 기준점은 동일 계측자에 의해서도 재현성이 상대적으로 떨어질 수 있다는 사실은 이미 알려져 있다(Cavalcanti et al., 2004). 이 연구에서는 이런 오차의 감소를 위해서 하악골 3차원 영상의 오리엔테이션을 교합 평면 기준으로 위치시켜 동일 각도에서 기준점을 지정한 뒤, 수평, 관상, 시상평면 방향에서 확인하여 오차가 최소화될 수 있도록 노력하였다.

골격성 부정교합의 전후방 관계를 판단 하기 위해서 예전부터 Steiner, Sassouni, Havold, Wits, McNamara 등 많은 저자들이 길이 및 각도 분석 방법을 제시하였다(Proffit et al., 2008). 본 연구에서는 두개 크기 등 개인차에 의한 차이를 줄이기 위하여 Delaire 분석의 menton plane angle과 Steiner 분석의 ANB 각도 차이를 기본적으로 이용하였다. 한국 성인 정상 교합자의 계측치(김경호 et al., 2001; 부정교합백서발간위원회, 1997)를 참고해서 ANB 각도 차이에 따라 정상군($0^\circ < \text{ANB} < 4^\circ$), 골격성 제2급 ($\text{ANB} > 4^\circ$), 제3급($\text{ANB} < 0^\circ$) 부정교합의 세 그룹으로 분류하였다. 또 ANB 각도가 Nasion의 위치에 따라 왜곡될 가능성이 있고, 상대적인 상-하악골 위치 관계만을 알려주는 변수여서 한계를 가질 수 있다. 두개부에 대한 하악골의 전후방 위치 평가를 위해서 menton plane angle을 함께 사용하였다. Delaire의 두개안면부 구조 분석(Delaire et al., 1981)에서는 이상적인 CF1 plane(김일현, 1991)을 원용하여, menton 평면을 설정하고 C3 평면과 이루는 각도를 계산하여 menton의 전후방적 위치관계를 평가하였다. Menton plane angle은 각 군마다 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였고, ANB 각도와도 매우 높은 상관 관계를 보여서 적절한 결정 인자라고 생각하였다.

이번 연구에서는 하악골 기능단위 벡터의 분석을 기준점, 크기, 방향, 합벡터, 그리고 인접 벡터 사이의 관계에 관해서 시도하였다. 일반적으로 벡터 연산에서는 기준점이 고려되지 않는다. 그러나 3차원 공간 상의 하악골

구조체의 위치 자체도 중요한 의미를 가질 수 있어서 기준점 위치를 따로 분석하였다.

두개저 관절외에서 측두하악관절을 구성하며 경첩 구조를 이루고 있는 하악골 과두는 하악골의 위치를 결정하는 시작 부위에 해당한다. CON의 위치를 분석한 결과, 예상과 달리 CON의 수평적 위치나 과두간 거리는 각 군 사이에서 차이가 없었다. 다만, 제2군 (하악골 후퇴증) CON이 좀더 전상방에 위치하였는데, 악관절 질환으로 악관절강이 좁아졌거나 centric relation과 centric occlusion의 차이가 심해서 생긴 것으로 추정되었다. 기준점 F나 MF의 위치는 하악골 위치의 상대적 차이를 그대로 반영하고 있어서 제3군이 상대적으로 더 전내측 방향에 있었다.

기능단위 벡터의 크기를 비교하였을 때, 과두 벡터, 하악체 벡터, 정중부 벡터의 크기는 제3군 (하악골 전돌증)에서 더 길고 제2군 (하악골 후퇴증)에서 짧은 양상을 보였다. 또 과두 벡터, 하악체 벡터, 정중부 벡터 순으로 menton plane angle과 높은 상관관계를 보였고 양(+)의 영향을 주는 것으로 분석되어서, 하악골의 전후방적 성장이 이들 기능단위의 길이 성장에 많이 의존함을 알 수 있었고 기존의 연구 견해와도 일치하는 결과였다(W. Park et al., 2010). Singh et al.의 연구에서는 하악골 전돌증의 구조적 특성이 하악체에서 가장 잘 표현된다고 하였다. 본 연구에서 기능단위 벡터의 크기 측면에서 보았을 때 과두부가 가장 큰 기여 부위로 나타났지만, 벡터의 방향성도 함께 생각해야 할 것이다. 그 이유는 하악체와 정중부의 벡터 방향, 특히 $\cos(\theta_y)$ 으로 표현되는 전방 방향 코사인 값이 과두 벡터의 크기보다 더 하악 전돌과 더 상관성이 있는 것으로 나타났기 때문이다.

오헤돌기 벡터와 하악각 벡터의 크기는 하악골 전돌 증상과 상관성이 적었다. 이 결과는 오헤돌기와 하악각이 하악골의 전후방 성장과 관계가 적다는 이제까지의 연구 결과를 입증하는 내용이기도 하고, 하악골 길이 성장을 직접적으로 일으키는 중요 기능단위가 아님을 간접 증명하기도 한다.

오혜돌기와 하악각은 부착된 근육에 의한 골막성 골침착에 의해 성장이 일어난다(Cruz et al., 2009). 결국 오혜돌기와 하악각은 부착 저작근인 교근, 측두근, 내측익돌근의 활성화 정도, 하악골의 기능 정도, 교합 관계, 치아 유무 및 위치, 다른 기능단위와의 상호 관계 등 주변 환경에 다양하게 영향받는다 고 하겠다(Cruz et al., 2009; Gali et al., 2010; Rodrigues et al., 2009), 그 외에 정상군 하악각 벡터 크기가 다른 군보다 큰 값을 보이는 이유는 정상적인 하악골 기능과 교합에 의한 저작력과 관계 있을 것으로 생각된다.

기능단위 벡터의 방향성을 분석하였을 때, 과두, 하악체, 정중부 벡터는 모두 내측, 전방, 하방을 향했다. 전반적으로 하악골 전돌증이 심할수록 더 전방을 향하고, 후퇴증일수록 내측, 하방을 향하였다. 각 축에 대한 벡터의 방향코사인을 이용하여 단위벡터의 방향성을 분석했을 때, 변수 간의 다중공선성 문제로 회귀분석은 시행할 수는 없었다. 그러나 상관관계 분석에서는 이미 언급한대로 하악골의 전후방 위치와 상관관계가 있었고, 특히 $\cos(\theta_y)$ (전방 방향 코사인)이 높은 상관관계를 보였다. 하악체 벡터, 정중부 벡터, 과두 벡터의 전방 방향코사인이 하악골 전돌과 높은 상관관계를 보였으며, 그 외에 하악체 벡터와 정중부 벡터의 하방 방향코사인, 과두 벡터의 내측 방향 코사도 비교적 높은 상관관계를 보였다. 이를 통하여, 제2군(하악골 후퇴증)에서는 과두가 더 후내측을 향하고, 하악체, 정중부는 후하방을 향하며, 이들 중에서도 하악체의 전방-하방 방향성과 정중부-과두의 전방 방향성이 하악골 전후방 위치와 가장 관련이 크다고 할 수 있었다.

과두, 하악체, 정중부 벡터와 달리 오혜돌기와 하악각 벡터는 다른 패턴의 방향성을 보였다. 우선 오혜돌기 벡터는 외측, 전방, 상방으로의 방향성을 가졌고, 특히 하악골 후퇴증에서 더 전방을 향하고, 하악골 전돌증에서 더 상방을 향하였다. 그래서 오혜돌기의 전방 혹은 상방 방향성은 하악골의 전후방 위치와 음의 상관 관계를 보이지만 오혜돌기의 크기는 하악골 전후방 위치와 상관이 없는 것으로 보아, 하악골의 전후방 위치 결정에 오혜돌기가

직접 관계되지는 않는다고 생각하였다. 이런 경향은 비교적 위치와 방향성이 일정한 측두근과 관계 있거나(Gali et al., 2010), 하악골의 후퇴증이 생기면서 후-하방 회전이 동반되기 때문에 일어난 2차적 결과로 생각되었다.

또 하악각 벡터는 외측, 후, 하방을 향하였고, 하악골 후퇴증일수록 더 후방을 향하였고 하방 방향코사인이 작은 값을 보였다. 하악골 전돌증의 경우 정상근과 차이가 없었고, 하악골 전후방 위치와의 상관계수도 비교적 낮았다. 결국 하악각 벡터의 후방 방향코사인의 차이는 하악골의 전후방 위치와는 관계없이 하악골 후퇴증 또는 전돌증에서 나타날 수 있는 저작근의 형태 및 기능과 관계 있을 것으로 추정되었다.

개별 기능단위의 크기나 방향성과는 달리 각 단위 간의 관계도 하악골의 전후방 위치 관계에 영향을 줄 수 있다고 생각하였다. 따라서 본 연구에서는 인접한 기능단위 벡터들 간의 합벡터의 크기와 사잇각에 대하여도 3차원 구조 분석을 수행하였고, 이러한 분석은 이제까지의 연구에서 다루어지지 못한 부분이었다. 인접 벡터 간의 각도 분석은 수평, 관상, 시상평면에 각각 투영된 기능단위 벡터들 간의 각도를 이용하였다. 수평 평면에서 과두와 하악체 벡터 사이의 각도는 하악골의 전후방 위치와 높은 상관관계를 가지고, 제2군이 가장 작았다. 수평 평면에서 제2군(하악골 후퇴증)이 벡터들 사이 각도가 가장 작은 값을 보이는 것은 과두 벡터의 내측 방향성이 크기 때문으로 생각되어, 과두의 내측 방향성이 하악골 전후방 성장 패턴과 관련이 있을 것으로 생각하였다.

시상평면에서 과두와 하악체 벡터 간의 각도는 제2군 (하악골 후퇴증)이 가장 큰 각도를 보이면서 각 군간 유의한 차이가 있었으며, 하악골 전후방 위치와는 높은 음의 높은 상관 관계를 보였다. 이는 과두와 하악체가 시상평면에서 이루는 각도가 하악골 전후방 위치에 영향을 준다는 사실을 확인해 주는 것이다. 특히 제2군에서와 같이 과두 벡터에서 하악체로 가면서 큰 각도를 유지할수록 하악골이 후방 위치한다는 사실은 두 벡터 간의 관계가 하악골 후퇴증을 악화시키고 있음을 증명하는 것이다.

한편, 하악체와 정중부 벡터 사이 관계를 수평 평면에서 평가하면 제2군이 제1, 3군에 비해 작고 세 군 간에는 유의한 차이가 있었으며, 하악골 전후방 위치와 약하지만 양의 상관 관계를 나타냈다. 다른 평면에서는 유의한 차이가 있지만 상관성은 아주 약하였다. 따라서 하악체 벡터가 정중부로 넘어가는 과정에서 내측으로 휘어지는 정도가 제2군에서 심하므로 하악골 후퇴증은 증폭된다고 할 수 있다. 이러한 벡터 간의 결과들을 모두 종합하면 제 2군 (하악골 후퇴증)은 과두에서 하악체로 가면서는 하방, 내측으로 변위가 심하고, 하악체에서 정중부로 가면서 내측으로 변위가 심해서 하악골 후퇴증이 심해지는 것으로 확인할 수 있었고, 제3군의 경우 그 반대였다. 하악골의 기능단위 별 형태 이상에 관한 연구가 활성화되지 못한 상태에서 이 결과를 평가하기는 쉽지 않으나, 적어도 하악골 성장 과정에서 과두부에만 한정되어 성장 이상이 일어나는 것이 아니고, 정중부까지 전반적인 장애가 발생하는 것으로 이해할 수 있겠다.

과두와 오혜돌기 벡터 간의 각도는 수평 평면에서 제3군 (하악골 전돌증)이 가장 크고 제2군 (하악골 후퇴증)이 가장 작았으며, 이들은 하악골의 전후방 위치와 상관 관계를 가졌다. 그러나 시상 평면에서 두 벡터의 각도는 군 간 차이가 없이 거의 동일하여서, 기준점 F에 대한 과두와 오혜돌기의 상대적 위치는 비교적 일정하게 유지되는 것으로 보였다. 다만, 정상 과두와 오혜돌기의 크기 비례는 하악골 기형에 따라 차이가 있다는 연구 보고들과, 이번 연구의 결과를 이용해 크기 비례를 구했을 때에도 같은 경향 (정상군 과두:오혜돌기=1: 1.03, 제2군 1:0.86, 제3군 1:1.08)을 보인다는 결과와, 오혜돌기 크기는 모든 군에서 일정하며, 과두-오혜돌기 합벡터가 세 군에서 차이가 있다는 사실은 기형에 의해 기준점 F가 달라지면 과두와 오혜돌기가 달라질 수 있다는 사실도 설명해 주고 있다.

과두 벡터와 하악체 벡터, 하악체 벡터와 정중부 벡터, 위 세가지 벡터의 총 합벡터의 크기는 각 군에서 명확한 차이를 보였다. 이 단위들은 하악골 후퇴증에서 작고 하악골 전돌증에서 큰 값을 보였으며, 하악골의 전후방

위치와도 높은 상관관계를 나타냈다. 그러나 벡터의 크기가 가장 중요했던 과두와 하악체의 합벡터나 과두-하악체-정중부의 합벡터 크기가 이들 각각의 방향에 대한 전후방 위치의 상관 계수보다 작은 것으로 보아 기능단위 벡터의 크기가 미치는 영향에 한계가 있는 것으로 생각되었다.

본 연구에서는 기능단위의 크기를 개별적으로 분석하고, 특정 평면 상의 각도만 분석하던 기존의 기능단위 분석법과 달리 각 기능단위 벡터의 크기와 방향, 각 기능단위 벡터 간의 관계, 그리고 이들의 하악골 전후방 위치와 상관성을 분석하였다. 이를 통하여 하악골 전후방 위치 이상, 즉 후퇴증이나 전돌증의 양상을 설명하고 원인이 될 수 있는 기능단위를 분석할 수 있었다. 이는 크기뿐만이 아니라 벡터의 방향성, 3차원적 분포까지 고려한 새로운 접근으로 생각할 수 있다. 특히, 기존의 연구들에서 발견할 수 없었던 과두와 하악체의 전방, 내측 방향 성장과 과두-하악체 벡터 간의 전방, 내측 각도 등을 하악골 위치 이상과 관련된 주요 요소로서 확인할 수 있었다. 또한 하악골 후퇴증의 원인으로 일반적으로 고려되었던 과두, 하악체, 정중부의 크기 부족 뿐만 아니라 수평 평면에서의 기능단위 벡터 간 사잇각 이상과 후하방 회전이 고려되어야 할 것으로 생각할 수 있었다.

따라서 본 연구를 통하여 하악골의 단순 구조 분석을 넘어 하악골 기형 원인을 개별적으로 분석하고 이에 기초한 수술 계획을 세울 수 있는 병인론적 진단 및 개인 맞춤 치료 계획의 수립이 가능할 것으로 생각되었다. 앞으로 대규모 표본을 대상으로 연구 결과를 객관화시키고 한국인 정상 하악골 기능단위의 평균치에 대한 자료를 수집해야 할 것이다. 또 성장에 따른 횡단적 연구를 통하여 시기에 따른 각 기능단위의 성장 양상 및 특징을 분석하는 것이 악안면 기형의 원인에 대한 좀더 구체적이고 명확한 이론 수립에 도움을 줄 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 전산화 단층 촬영술로 얻은 하악골 3차원 영상에서 하악골 기능단위 벡터 분석법을 시행하였다. 비대칭이 없는 제1군(정상 대조군), 제2군(하악골 후퇴증), 제3군(하악골 전돌증)을 대상으로 각 단위벡터의 크기, 방향, 합벡터 및 벡터 간의 관계를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 하악골 기능단위 벡터의 크기는 과두, 하악체, 정중부 벡터에서 각 군이 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 하악골 전후방 위치를 나타내는 변수 menton plane angle 과 상관성을 계산하여 과두, 하악체, 정중부 순으로 높은 상관 관계를 보였다.
2. 하악골 기능단위 벡터의 방향은, 사후 검정 결과 과두 벡터에서 각 군이 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 다른 기능단위 벡터는 제 2 군(하악골 후퇴증) 만이 다른 군에 비하여 유의한 차이를 보이고 제 1 군(정상 대조군)과 제 3 군(하악골 전돌증) 간의 유의한 차이를 보이지 않았다. 하악골 전후방 위치를 나타내는 변수 menton plane angle 과 상관성을 계산하여 하악체, 과두, 정중부 순으로 높은 상관 관계를 보였다.
3. 기능단위 벡터의 관계를 고려할 때, 합벡터의 크기는 각 군이 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 하악골 전후방 위치를 나타내는 변수 menton plane angle 과 상관관계를 보였다.
4. 기능단위 벡터 간 사잇각은 수평평면에 투영된 사잇각이 각 군이 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 하악골 전후방 위치를 나타내는 변수 menton plane angle 과 상관성을 계산하여 높은 상관관계를 보였다. 시상평면 또는 관상평면에 투영된 사잇각은 각 군 간의

통계적으로 유의할 만한 차이가 적었으며, 하악골 전후방 위치를 나타내는 변수 menton plane angle 과 대부분 상관관계를 보이지 않았다.

이상을 고려하였을 때 하악골 전돌증은 과두의 방향과 과두, 하악체의 크기 이상, 과두와 하악체의 사잇각이 주된 요인이며 하악골 후퇴증은 과두, 하악체, 정중부의 크기 이상, 수평평면에서의 각 기능단위 벡터의 작은 사잇각 및 하악골 전체의 후하방 회전이 주된 요인임을 확인할 수 있었다.

이와 같이 하악골 기능단위 벡터 분석법을 이용하여 크기뿐만이 아니라 벡터의 방향성, 3차원적 분포까지 고려한 새로운 접근으로 하악골의 전후방적 성장양상을 잘 표현할 수 있을 뿐 아니라 기존의 연구들에서 발견할 수 없었던 기능단위 형태 및 관계의 이상들을 하악골 기형과 관련된 주요 요소로서 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 하악골의 단순 구조 분석을 넘어 하악골 기형 원인을 개별적으로 분석하고 이에 기초한 수술 계획을 세울 수 있는 병인론적 진단 및 개인 맞춤 치료 계획의 수립이 가능할 것으로 생각되었다.

참고문헌

- 강연희: 3차원 악안면 기형 분석을 위한 시축관련 수평기준평면의 평가, 연세대학교 대학원, 서울, 2010.
- 김경호, 최광철, 김형곤, 박광호: 악교정 수술을 위한 한국 성인 정상교합자의 경조직 기준치. CEPHALOMETRIC NORMS OF THE HARD TISSUES OF KOREAN FOR ORTHOGNATHIC SURGERY 27: 221-230, 2001.
- 김일현 이: 구조적 및 구성적 분석 방법에 의한 한국 정상성인의 두개안면부 형태에 관한 연구. 대한구강악안면외과학회지 17: 33-45, 1991.
- 김학진: 3차원 CT 영상을 이용한 두개악안면 분석에서의 기준평면 설정, 연세대학교 대학원, 서울, 2005.
- 박경란: 3차원 벡터를 이용한 하악골 비대칭 패턴 해석, 연세대학교 대학원, 서울, 2012.
- 부정교합백서발간위원회: 한국성인 정상교합자의 측모두부규격방사선사진 계측 연구 결과보고서. 1997, 대한치과교정학회.
- 이준복: 3차원 객체의 특징 벡터 추출, 高麗大學校 大學院, 서울, 2003.
- Alves PVM, Bolognese AM, Zhao L: Three-Dimensional Computerized Orthognathic Surgical Treatment Planning. Clinics in Plastic Surgery 34: 427-436, 2007.
- Ayoub AF, Mostafa YA: Aberrant mandibular growth: Theoretical implications. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics 101: 255-265, 1992.
- Baek S, Cho I, Chang Y, Kim M: Skeletodental factors affecting chin point deviation in female patients with class III malocclusion and facial asymmetry: a three-dimensional analysis using computed tomography. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology and endodontology 104: 628-639, 2007.
- Bjrk A, Skieller V: Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. European journal of orthodontics 5: 1-46, 1983.

- Cavalcanti MG, Rocha SS, Vannier MW: Craniofacial measurements based on 3D-CT volume rendering: implications for clinical applications. *Dento-maxillo-facial radiology* 33: 170-176, 2004.
- Chan HJ, Woods M, Stella D: Mandibular muscle morphology in children with different vertical facial patterns: A 3-dimensional computed tomography study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 133: 10.e11-10.13, 2008.
- Cruz DZ, Rodrigues L, Luz JG: Effects of detachment and repositioning of the medial pterygoid muscle on the growth of the maxilla and mandible of young rats. *Acta Cirúrgica Brasileira* 24: 93-97, 2009.
- Deguchi T, Katashiba S, Inami T, Foong KW, Huak CY: Morphologic quantification of the maxilla and the mandible with cone-beam computed tomography. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 137: 218-222, 2010.
- Delaire J, Schendel SA, Tulasne JF: An architectural and structural craniofacial analysis: A new lateral cephalometric analysis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 52: 226-238, 1981.
- Enlow DH: Facial growth. 3rd ed. 1990, pp. 200-217, W B Saunders Co.,
- Gali M, Consorti G, Tieghi R, Denes SA, Fainardi E, Schmid JL, et al.: Early surgical treatment in unilateral coronoid hyperplasia and facial asymmetry. *The Journal of craniofacial surgery* 21: 129-133, 2010.
- Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF: Effect of facial asymmetry on 2-dimensional and 3-dimensional cephalometric measurements. *Journal of oral and maxillofacial surgery* 69: 655-662, 2011.
- Haraguchi S, Takada K, Yasuda Y: Facial asymmetry in subjects with skeletal Class III deformity. *The Angle orthodontist* 72: 28-35, 2002.
- Hong SX, Yi CK: A classification and characterization of skeletal class III malocclusion on etio-pathogenic basis. *International journal of oral & maxillofacial surgery* 30: 264-271, 2001.

- Lavelle CL, Greenwood R: The shape of the mandible. *International journal of oral surgery* 14: 517-525, 1985.
- Litton SF, Ackermann LV, Isaacson RJ, Shapiro BL: A genetic study of Class 3 malocclusion. *American journal of orthodontics* 58: 565-577, 1970.
- Maeda M, Katsumata A, Arijii Y, Muramatsu A, Yoshida K, Goto S, et al.: 3D-CT evaluation of facial asymmetry in patients with maxillofacial deformities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 102: 382-390, 2006.
- Mew JR: The postural basis of malocclusion: a philosophical overview. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 126: 729-738, 2004.
- Moss ML, Rankow RM: The role of the functional matrix in mandibular growth. *The Angle orthodontist* 38: 95-103, 1968.
- Muramatsu A, Nawa H, Kimura M, Yoshida K, Maeda M, Katsumata A, et al.: Reproducibility of maxillofacial anatomic landmarks on 3-dimensional computed tomographic images determined with the 95% confidence ellipse method. *The Angle orthodontist* 78: 396-402, 2008.
- Olszewski R, Tanesy O, Cosnard G, Zech F, Reyhler H: Reproducibility of osseous landmarks used for computed tomography based three-dimensional cephalometric analyses. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery* 38: 214-221, 2010.
- Park S, Yu H, Kim K, Lee K, Baik H: A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 129: 600.e623-600.e634, 2006.
- Park W, Kim B, Yu H, Yi C, Lee S: Architectural characteristics of the normal and deformity mandible revealed by three-dimensional functional unit analysis. *Clinical Oral Investigations* 14: 691-698, 2010.
- Proffit WR, Fields HW, Sarver DM, 장영일, 남동석, 김태우, et al.: 최신 치과교정학. 2008, 대한나래출판사, 서울.

- Przystańska A, Bruska M, Woźniak W: Skeletal units of the human embryonic mandible. *Folia morphologica* 66: 328-331, 2007.
- Radlanski RJ, Renz H, Klarkowski MC: Prenatal development of the human mandible. 3D reconstructions, morphometry and bone remodelling pattern, sizes 12-117 mm CRL. *Anatomy and embryology* 207: 221-232, 2003.
- Rodrigues L, Traina AA, Nakamai LF, Luz JG: Effects of the unilateral removal and dissection of the masseter muscle on the facial growth of young rats. *Brazilian oral research* 23: 89-95, 2009.
- Severt TR, Proffit WR: The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery* 12: 171-176, 1997.
- Sicher H: The growth of the mandible. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery* 33: 30-35, 1947.
- Singh GD, McNamara JA, Lozanoff S: Spline analysis of the mandible in human subjects with class III malocclusion. *Archives of Oral Biology* 42: 345-353, 1997.
- Swennen GR, Mollemans W, Schutyser F: Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. *Journal of oral and maxillofacial surgery* 67: 2080-2092, 2009.
- Terajima M, Nakasima A, Aoki Y, Goto TK, Tokumori K, Mori N, et al.: A 3-dimensional method for analyzing the morphology of patients with maxillofacial deformities. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 136: 857-867, 2009.
- You K, Lee K, Lee S, Baik H: Three-dimensional computed tomography analysis of mandibular morphology in patients with facial asymmetry and mandibular prognathism. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 138: 540.e541-548, 2010.

Abstract

Vector based 3D analysis of mandibular pattern

Nam-kyoo Kim

Department of Dentistry

The Graduate School, Yonsei University

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

Mandible has a bigger portion on lower part of craniofacial region. Abnormal growth of mandible is considered major portion of dentofacial deformity and direct cause of mandibular retro/pro-gnathism and important factor of diagnosis and treatment planning for orthognathic surgery. So, Efforts for analysis about mandibular configuration and causes of mandibular deformities were performed with various methods. Recently, effort for understanding actually about mandibular 3-dimensional configuration and growth pattern are performed. But, current mandibular analysis using 3D CT could not break away a outline of 2-dimensional analysis. We can analyze the causes of mandibular 3-dimensional dysmorphia and make a treatment plan with simultaneous comparative analysis between normal and deformity patients of location of anatomical point, size, direction based on mandibular genesis and growth theory. For that, we set up mandibular functional unit vectors that have both size and direction information and symbolize

Moss's functional units. So, we could analysis mandibular patterns in normals, retrognathism, prognathisms.

The symmetric patients were divided in three groups: The first group, normal control group, included 17 patients and the second group, mandibular retrognathism group, included 24 patients and the third group, mandibular prognathism group, included 26 patients. The size and directional cosine of mandibular functional vectors, and included angle between vectors were calculated. Then the correlation between these results and the relative position of menton compared C3 plane was analyzed. The following results were obtained.

Condyle, the starting points that decide mandibular position, didn't represent definite difference between normal controls, mandibular retrognathism, mandibular prognathism patients. Only showing little anterosuperior positions in retrognathism group. The size of mandibular functional units, except coronoid and gonial vectors, have statistic difference between groups, and show a high correlation with included angle between C3 plane and CF1Me plane following condyle, body, symphseal vectors. The direction of condylar unit vectors shows statistic mindful differences between groups after multiple comparison. Other functional unit vectors show a difference only between retrognathism group and other groups, and show a high correlation with included angle between C3 plane and CF1Me plane following body, condyle, symphseal vectors. Considering the relation between functional unit vectors, the size of sum/subtraction vectors have shown a statistic mindful differences between three groups. The sum vector of condylar, body, symphyseal unit vectors have shown a high correlation with included angle between C3 plane and CF1Me plane. Considering the included angle between functional unit vectors, the angle on the horizontal reference plane has a high correlation with included angle between C3 plane and CF1Me plane. The angle on the sagittal and coronal reference plane have shown few statistic differences, no correlation with included angle between C3 plane and CF1Me plane. Therefore, condylar unit direction, the size of condylar, body unit are

major factor of mandibular prognathism and, in mandibular retrognathism group, the included angle between vectors on the horizontal plane, posteroinferior rotation of whole mandible are major factor of deformity.

In conclusion, mandibular functional unit vector analysis could represent mandibular anteroposterior patterns well and deduce the cause of deformities with size, direction, included angle. So, we can analyze and understand individual causes of mandibular deformities beyond simple structural analysis in diagnosis, treatment planning of developmental deformities with mandibular functional unit vector analysis. Therefore we thought that it could make etio-pathogenic diagnosis and treatment planning applicable actual orthognathic surgery. With studies intended more samples, the mandibular functional unit vector analysis could be used in clinics valuably.

Key words : Retrognathism, Prognathism, Mandibular functional unit, Vector, Size, Direction, Vector analysis