

기하학적 형태계측학을 이용한 조선시대 머리뼈 형태의 변이 양상 연구

정현우¹, 우은진², 박순영¹

¹서울대학교 사회과학대학 인류학과 생물인류학 실험실

²연세대학교 치과대학 구강생물학교실 해부 및 발생생물학과, BK21 플러스 통합구강생명과학 사업

(2014년 11월 11일 접수, 2015년 1월 25일 수정접수, 2015년 2월 16일 게재승인, Published Online 30 March 2015)

간추림 : 전통적인 형태계측학에서는 머리뼈지수, 위얼굴지수와 같은 측정치들의 비율을 이용하여 머리뼈의 형태를 분석한다. 그런데 이러한 비율들은 좌표 정보가 아니기 때문에 이 정보들만으로는 3차원 공간에서 전체의 형태를 구현할 수 없다. 이러한 맥락에서 전통적인 형태계측학으로는 머리뼈를 구성하는 각 부위의 형태들이 갖는 유기적인 관계들을 종합적으로 파악하는 데 한계가 있다. 따라서 이 연구에서는 전통적인 형태계측학의 한계를 극복하기 위해 기하학적 형태계측학을 이용하여, 조선시대 집단 머리뼈 형태에서 나타나는 변이의 양상들을 분석하고 그 특징을 검토하고자 하였다.

이 연구는 15세기에서 20세기 초반에 해당하는 서울·경기 지역의 고고학 유적들에서 출토된 조선시대 사람 뼈 57개체를 대상으로 하였다. 머리뼈 형태에 대한 좌표는 MicroScribe G2X (Immersion Corporation, USA)를 이용하여 수집하였으며 주성분 분석을 실시하여 머리뼈 부위의 형태 변화를 분석하였다.

연구 결과, 여성은 머리뼈 너비 및 길이, 정수리점 위치, 머리뼈뒤면 형태, 얼굴뼈 길이에서, 남성은 머리뼈 길이, 너비, 높이, 꼭지돌기 크기, 얼굴뼈 길이에서 집단 내 변이가 가장 크게 나타났다. 그리고 집단 전체의 머리뼈 길이가 짧아지는 동시에 너비는 넓어졌다. 하지만 이러한 변화와 함께 발생하는 머리뼈 높이와 얼굴뼈 길이의 변화 양상 및 상대성장과의 유사성은 성별에 따라 다르게 나타났다. 이 연구에서 제시된 조선시대 머리뼈 형태에 변이를 일으키는 주요 부위들과 그에 따른 변이 패턴은 향후 한국인의 머리뼈 형태 연구를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

찾아보기 낱말 : 머리뼈 형태, 조선시대 사람뼈 집단, 기하학적 형태계측학

서 론

지금까지 한국인 머리뼈의 형태적 특징을 분석한 연구들에는 주로 전통적인 형태계측학(traditional morphometrics)의 방법론이 이용되었다[1-7]. 예를 들어, Koh

등(1999)[1]은 옛 한국인과 현대 한국인의 얼굴 편평도를 분석하여, 옛 한국인이 북중국, 현대 한국인이 시베리아 계통 민족과 더 가깝다고 보고하였다. 그리고 Im (2001)[2]은 중부 지역에서 출토된 조선시대 사람뼈 집단의 머리뼈를 지역과 성별에 따라 비교하였고, Min (2012)[3]은 다양한 시대에 걸쳐 나타나는 머리뼈 지수의 변화를 분석하였다. 이 외에도 현대 한국인의 광대뼈 계측치 [4], 눈확 형태 [5], 연령에 따른 머리뼈 계측치의 변화 [6], 청년기 개체들의 머리뼈가 갖는 형태적 특징 [7]에 대한 연구들에 전통적인 형태계측학의 방법론이 이용되었다.

*이 논문은 2014년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014S1A5A2A01013087).

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

교신저자: 박순영 (서울대학교 사회과학대학 인류학과)

전자우편: suny@snu.ac.kr

Table 1. Sex and age distribution of the sample in this study.

Sex	Age categories			Total
	20-35 yrs	36-50 yrs	51 yrs or older	
Males	7	15	9	31
Females	13	10	3	26

그러나 위의 연구들에 이용된 전통적인 형태계측학의 방법론은 측정과 분석의 단위로 계측점 사이의 길이 및 각도와 그 수치들의 비율만을 사용하기 때문에 전체 형태(shape)를 구성하는 각 부위들의 유기적인 관계를 파악하는 데는 분명 한계가 있다[8,9]. 물론 이 방법론은 한 종류의 수치 정보나 지수(index)로 집단들을 비교할 때는 유용하다. 그러나 개체의 형태를 3차원 이미지로 복원하여 형태적 특징을 파악하고자 할 때에는 계측점 사이의 길이와 각도, 이들에 대한 비율만으로는 전체의 형태를 복원할 수 없다. 즉 전통적 형태계측학의 방법론으로 특정한 부위의 길이나 각도가 변화하는 정보를 파악할 수는 있지만 그 수치들과 다른 뼈대 부위의 형태 변화가 갖는 관계를 통합적으로 파악하기는 어렵다. 예를 들어, 전통적 형태계측학으로는 머리뼈의 길이가 변화할 때 머리뼈의 너비와 높이, 얼굴뼈의 길이와 너비가 동시에 어떻게 변화하는지 파악할 수 없다.

반면에 기하학적 형태계측학의 방법론은 머리뼈 전체의 형태 변화를 3차원의 좌표 공간 상에 표현하기 때문에 전체 형태를 구성하는 요소들의 유기적 관계를 종합적으로 파악하는 것이 가능하다. 이러한 맥락에서 기하학적 형태계측학은 각 부위의 형태들이 변화하는 정도와 그 관계를 파악하는 데에 적합한 연구방법이라고 할 수 있다. 인간의 머리뼈는 하나의 통합된 구조를 가지고 있어서 각 부위들의 형태가 변할 때 나타나는 유기적인 관계를 파악하는 작업이 중요하다[11]. 머리뼈를 머리뼈 바닥, 머리덜개뼈, 얼굴뼈의 형태 모듈(module)로 나눈 연구나 머리뼈의 인위적 변형(artificial cranial deformation)을 다룬 연구들은 머리뼈의 각 부위들이 국지적으로 변화하기 보다는 유기적인 관계를 갖고 변화한다는 사실을 잘 보여준다[12,13]. 하지만 기존의 한국인 머리뼈 형태에 대한 연구들은 집단 간의 비교에만 집중하여, 집단 간의 차이가 두드러지는 부위나 그 수치들 사이의 관계에 대해서는 주목하지 않았다. 즉 현재까지 한국인의 머리뼈를 대상으로 집단 내에서 나타나는 머리뼈 각 부위의 종합적인 변이 양상을 파악한 연구는 거의 없었다. 이러한 맥락에서 이번 연구에서는 기하학적 형태계측학의 방법론을 적용하여 조선시대 집단의 머리뼈 각 부위들의 형태가 갖는 유기적인 관계를 파악하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구재료

이 연구는 서울대학교 인류학과 생물인류학 실험실과 충북대학교 중원문화연구소에 보관된 조선시대 사람뼈 집단을 대상으로 하였다. 연구자료들은 15세기에서 20세기 초반에 해당하는 서울·경기지역의 고고학 유적들에서 출토되었다. 기하학적 형태계측학 연구를 위해 머리뼈에서 좌표 수집이 가능한 20세 이상의 성인 총 57개체들을 선별하였다. 개체의 성과 연령은 기존에 발행된 보고서들을 토대로 하였으며 [14-20], 성별 및 연령별 개체 수는 Table 1과 같다.

2. 기하학적 형태계측학

이 연구는 머리뼈 전체에서 총 45개의 계측점을 3차원 계측장비인 MicroScribe G2X (Immersion Corporation, USA)를 이용하여 수집하였다. 총 45개의 계측점들 가운데 머리뼈 중심선 위에 있는 점들은 9개였고 중심선을 기준으로 좌·우에 위치한 점들은 36개였다. 예를 들어, 중심선 위의 점들은 정수리점(bregma), 코뿌리점(nasion), 시옷점(lambda) 등이며, 좌·우에 위치한 점들은 별점(asterion), 뇌막동맥구멍(foramen spinosum)의 가장 안쪽 점과 같이 중심선을 기준으로 좌우에 있는 점이다. 사용한 점들은 Weisensee와 Jantz (2011) [21], Bigoni 등(2013) [22]의 방법을 바탕으로 하였다(Fig. 1).

좌표 정보들의 정렬과 겹침(superimposition)은 프로크루스테스(Procrustes) 겹침 방법으로 실시하였다. 각 개체가 가진 좌표 정보들을 바탕으로 개체들의 형태를 비교하기 위해 무게중심(centroid)을 같은 위치로 옮겼고 무게중심크기(centroid size)를 1로 통일시켰으며 각 점 사이의 거리가 최소가 되도록 최소 제곱법으로 개체들을 회전시켰다. 이 과정을 마치면 개체들 사이의 차이에는 오직 형태 정보만이 남는다. 이 과정은 기하학적 형태계측학 분석의 가장 기초가 되는 일반화된 프로크루스테스 분석(generalized Procrustes analysis, 이하 GPA) [9]이며 이 연구에서도 이와 같은 과정을 거쳐 분석을 실시하였다.

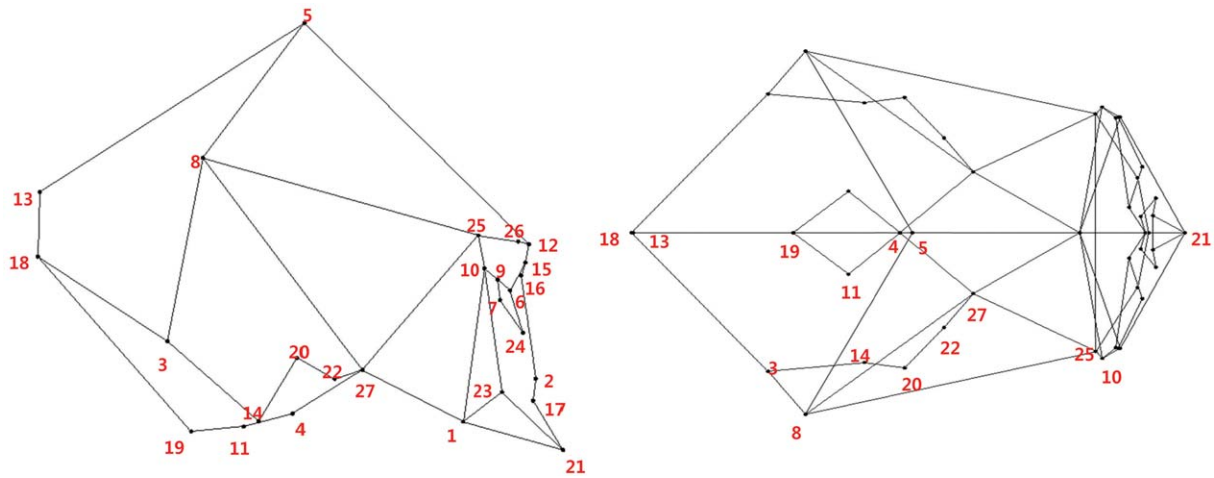


Fig. 1. Three-dimensional landmarks adapted from Weisensee and Jantz (2011) [21] and Bigoni et al. (2013) [22]. 1, staurion; 2, alare; 3, asterion; 4, basion; 5, bregma; 6, dacryon; 7, ectoconchion; 8, eurion; 9, frontomolare anterior; 10, frontomolare temporal; 11, lateral foramen magnum; 12, glabella; 13, lambda; 14, mastoideale; 15, nasion; 16, nasale superius; 17, inferior nasal border; 18, opisthocranion; 19, opisthion; 20, porion; 21, prosthion; 22, stenion; 23, zygomaxilare; 24, zygoorbitale; 25, frontotemporale; 26, supraconchion; 27, medial foramen spinosum.

머리뼈 형태의 변이에 대한 분석은 형태 분석 프로그램인 Morpho J 1.05c [23]를 이용하였다. 머리뼈 형태에서 주요한 변이가 발생하는 부위들을 파악하기 위해 3차원 계측점들을 대상으로 주성분 분석(principal component analysis)을 실시하였다.

결 과

머리뼈 형태에 영향을 미치는 변이를 분석한 결과, 남성과 여성 모두 주성분 1부터 3까지가 총 분산의 약 40%를 차지하였다(Table 2). 먼저 여성의 머리뼈는 머리뼈의 길이 및 너비, 정수리점의 위치, 머리뼈뒤면의 형태, 얼굴뼈의 길이에 따라서 형태가 크게 변화하였다(Figs. 2 and 3). 특히 주성분 1의 점수가 커질 때 머리뼈 전체에서 뇌머리뼈(neurocranium)가 차지하는 비율이 커졌고 동시에 정수리점이 앞으로 이동하고 머리뼈바닥은 높아지면서 얼굴뼈는 짧아지는 경향이 있었다. 그리고 큰구멍(foramen magnum)이 뒤쪽으로 이동하면서 비스듬들(clivus)의 위치도 위쪽과 뒤쪽으로 향하는 경향이 있었다. 한편 얼굴뼈는 너비에 비해서 길이의 변화가 더 컸다.

다음으로, 남성의 머리뼈는 머리뼈의 길이, 너비, 높이, 꼭지돌기의 크기, 얼굴뼈의 길이에 따라서 형태가 크게 변화하였다(Figs. 4 and 5). 구체적으로 길이의 변화는 주로 머리뼈뒤면의 영향을 많이 받았다. 이러한 변화와 함께 머리뼈 높이도 높아졌는데 머리뼈아래면보다는 머리뼈

위면의 변화가 더 컸다. 더불어 꼭지돌기의 너비가 넓어지고 길이가 길어지는 경향이 있었다. 이러한 꼭지돌기의 변화는 머리뼈 너비가 넓고 길이는 짧으며 높이가 높을수록 더 컸다(Fig. 5). 한편 머리뼈 너비가 넓어지고 길이가 짧아질 때에 얼굴뼈의 길이는 길어졌지만 너비는 크게 변하지 않았다.

고 찰

이 연구에서 분석한 조선시대 사람뼈 집단의 머리뼈 형태 변이는 국지적인 변화가 아닌 전체가 통합된 구조의 변화로 파악되었다(Figs. 2~5). 먼저 집단 전체에 공통적으로 나타난 특징을 살펴보면, 머리뼈의 길이가 짧아질 때 너비는 넓어졌다. 머리뼈의 길이가 짧아지는 정도와 너비가 넓어지는 정도에 큰 차이는 없어 보였다(Figs. 3 and 5). 다른 개체들보다 더 짧은 머리를 가진 개체들의 머리뼈는 머리뼈의 길이가 더 짧고 너비는 더 넓었다. 이렇게 집단 내에서 머리뼈 길이와 너비의 변화가 함께 확인된다는 것은 머리뼈의 형태가 통합적 구조로 변화한다는 기존 연구들[11-13]의 보고와 일치하는 결과라 하겠다.

한편 머리뼈 형태의 변이 양상은 성별에 따라서도 차이를 보일 수 있다. 그러나 기존의 연구들에서는 머리뼈 각 부위들의 형태 변화를 분석하면서 성별을 주요 변수로 통제하지 않았고[10,24] 성별을 주요 변수로 통제하였더라도 머리뼈 전체의 형태를 함께 분석하지는 않았

Table 2. Percentage of variance of PC (principal component) and cumulative percentages.

PC	Males		Females	
	% of variance	Cumulative %	% of variance	Cumulative %
1	17.742	17.742	16.572	16.572
2	11.461	29.203	13.05	29.622
3	11.261	40.464	12.213	41.835
4	8.489	48.953	8.638	50.472
5	6.598	55.551	6.352	56.824
6	5.695	61.246	6.038	62.861
7	4.629	65.875	5.059	67.921
8	4.548	70.423	4.81	72.731
9	3.968	74.391	3.884	76.615
10	3.53	77.921	3.573	80.188
11	3.242	81.163	2.797	82.985
12	2.96	84.123	2.708	85.693
13	2.173	86.296	2.672	88.366
14	1.894	88.19	2.136	90.501
15	1.692	89.882	1.713	92.214
16	1.44	91.322	1.539	93.754
17	1.333	92.655	1.172	94.925
18	1.134	93.789	1.067	95.992
19	1.041	94.83	0.941	96.933
20	0.975	95.805	0.842	97.775
21	0.715	96.52	0.678	98.453
22	0.643	97.164	0.51	98.963
23	0.548	97.711	0.487	99.45
24	0.499	98.211	0.315	99.766
25	0.433	98.644	0.234	100
26	0.338	98.982		
27	0.335	99.317		
28	0.251	99.569		
29	0.235	99.804		
30	0.196	100		

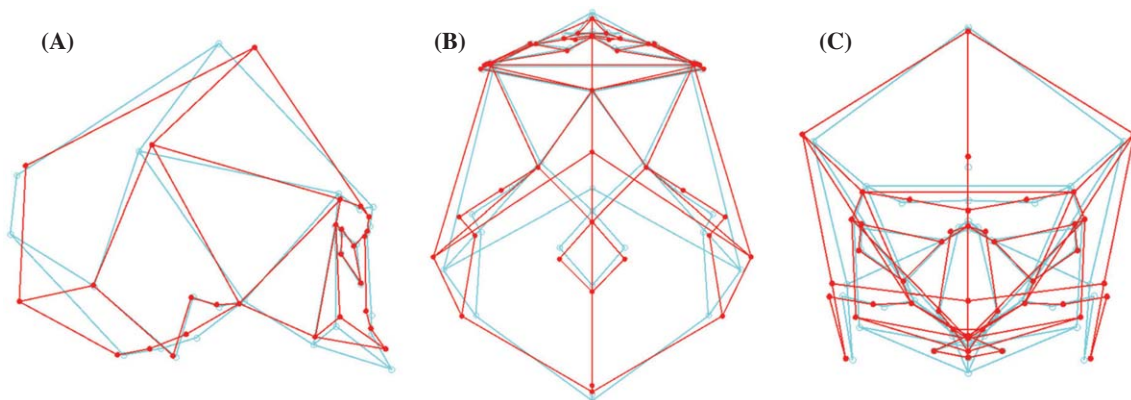


Fig. 2. Superimposition of cranial shapes in females with PC1. (A) Lateral view. (B) Superior view. (C) Anterior view. The red lines show shape changes of crania with increase of PC1 score. The bluish green lines are the average shape of crania of males.

다[3,4]. 하지만 한국인의 머리뼈 형태는 성별에 따라 변화하는 양상에 차이가 있으며[6,25] 이번 연구의 결과에서도 머리뼈 각 부위들의 형태 변이 양상이 성별에

따라 다르게 나타났다.

성별에 따른 변이 양상을 살펴보면, 머리뼈의 길이 및 너비가 변화할 때 성별에 따라 머리뼈의 높이가 변하는

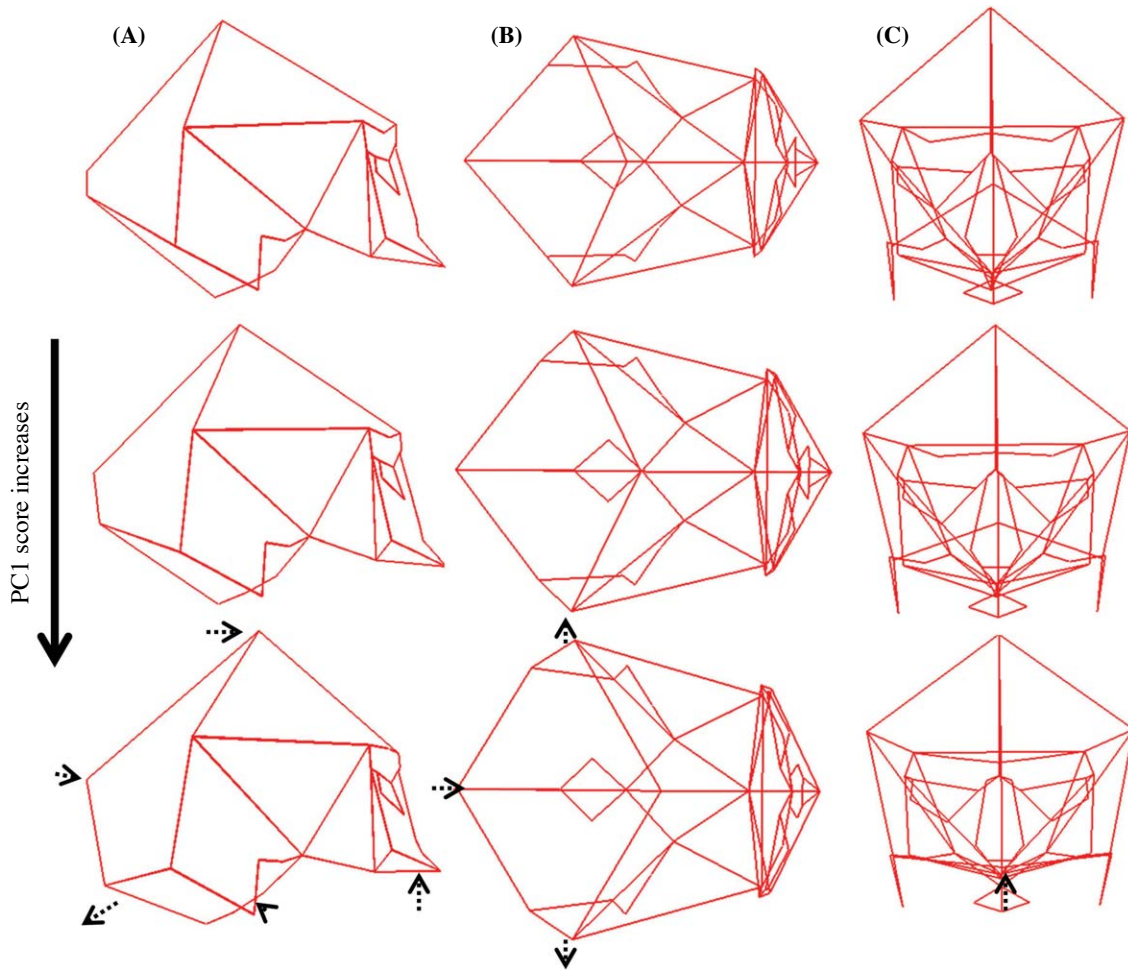


Fig. 3. Comparative shapes of crania of females with PC1. (A) Lateral view. (B) Superior view. (C) Anterior view. Black arrows indicate the degree of variations.

정도에 차이가 있었다. 그러나 기존 연구에서는 성별에 대한 구분 없이, 높은 머리형을 갖는 동북아시아의 여러 민족들 중에서도 특히 한국인의 머리뼈가 더 높다고 보고하였다[10]. 하지만 이번 연구를 보면, 머리뼈의 길이가 짧아지고 너비가 넓어지는 동시에 머리뼈의 높이가 높아지는 현상은 남성 집단에만 나타났다. 반면에 여성 집단의 머리뼈 형태 변이를 보면, 머리뼈의 길이가 짧아지고 너비가 넓어져도 머리뼈 높이는 거의 변하지 않았다(Figs. 3 and 5). 이러한 경향이 남성 집단에만 나타난 원인 중 하나로 머리뼈 높이의 변화 중에서도 머리뼈 바닥 높이의 변화를 들 수 있겠다. 즉 남성 집단의 머리뼈 높이(정수리점-바닥점)가 변화할 때 머리뼈 바닥 높이(귓구멍점-바닥점)도 함께 변화하였기 때문이다. 머리뼈 바닥 높이는 주로 개체의 영양상태와 관련이 있다고 알려져 왔다[26,27]. 연구들에서는 개체의 영양상태가 좋은 경우에는 머리뼈 바닥 높이가 높아지고, 개체의 영

양상태가 좋지 않은 경우에는 머리뼈 바닥 높이가 낮아진다고 보고되었다. 따라서 이번 연구의 결과를 보면, 조선시대 집단의 여성은 개체 간 영양상태에 큰 차이가 없었지만 남성 집단에는 어느 정도 차이가 존재했을 가능성이 있다. 한편 기존의 한국인 머리뼈 형태에 관한 연구들은 머리뼈 높이가 변하는 주요한 이유가 머리뼈 아래면과 머리뼈 위면 중에 어느 부분과 관련되어 있는지 명확히 밝혀내지 못했다. 하지만 이번 연구 결과를 보면, 머리뼈 높이가 높아질 때 머리뼈 아래면보다는 머리뼈 위면의 변화가 더 컸기 때문에 이 집단의 남성 머리뼈의 높이 변화는 주로 머리뼈 위면의 변화 때문에 발생했다고 할 수 있다.

다음으로, 머리뼈의 길이 및 너비가 변화할 때 성별에 따라 얼굴뼈의 길이가 변하는 양상에 차이가 있었다. 머리뼈의 길이가 짧아지고 너비가 넓어질 때 남성의 얼굴뼈는 길어지지만 여성의 얼굴뼈는 짧아졌다(Figs. 3 and

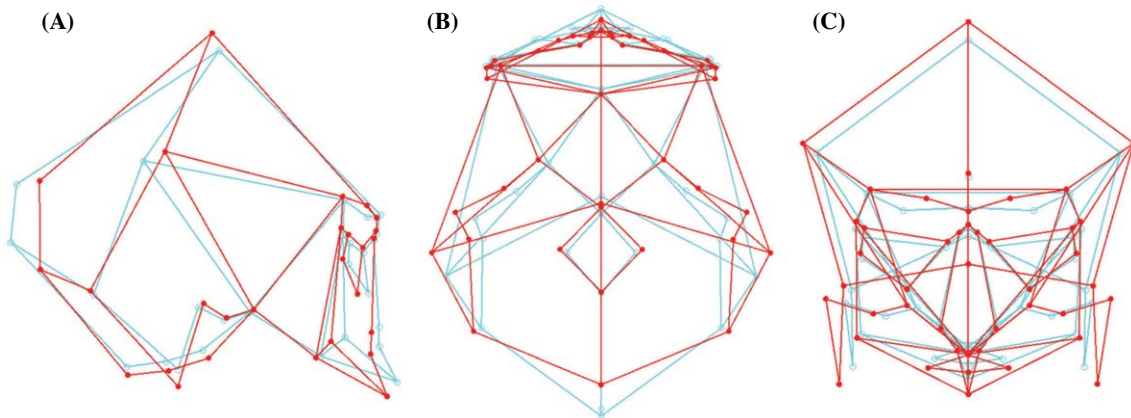


Fig. 4. Superimposition of cranial shapes in males with PC1. (A) Lateral view. (B) Superior view. (C) Anterior view. The red lines show shape changes of crania with increase of PC1 score. The bluish green lines are the average shape of crania of males.

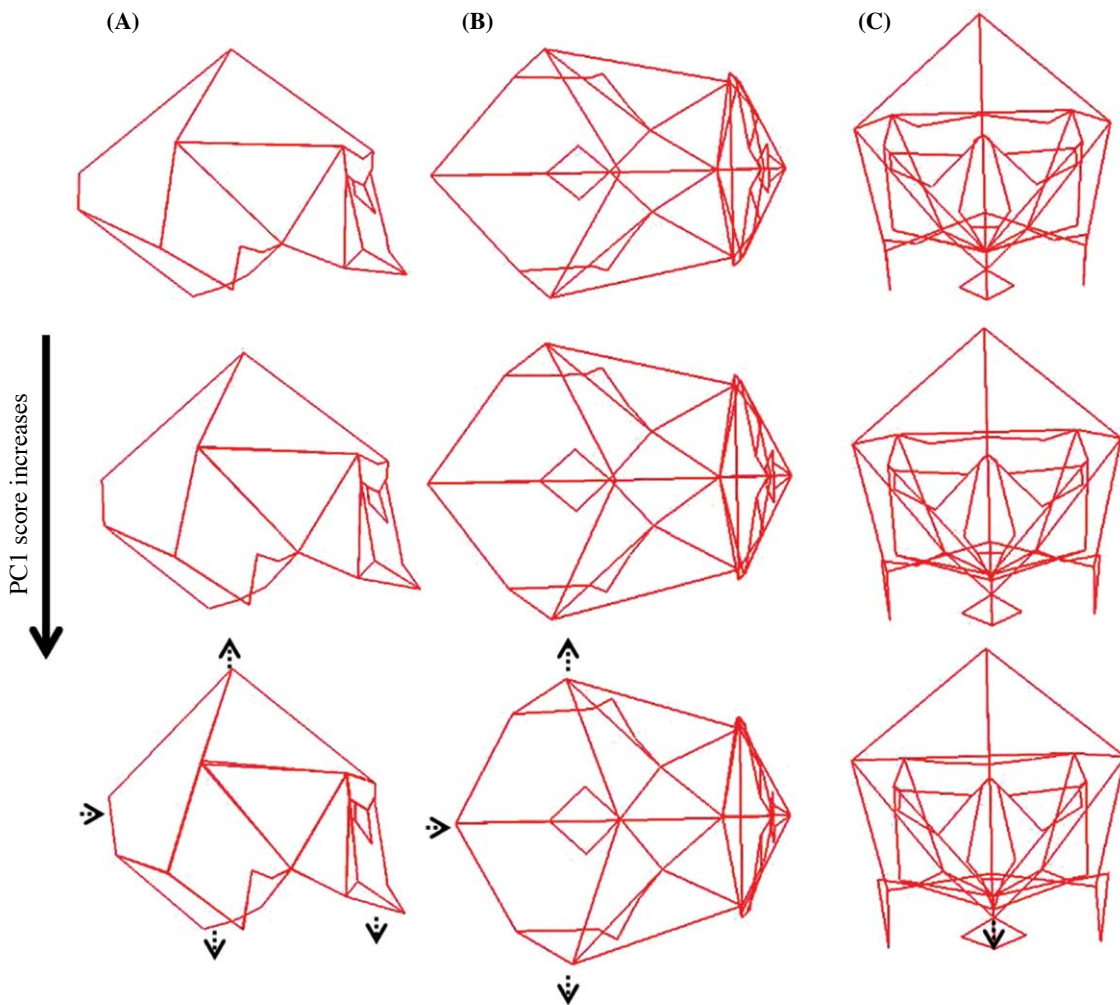


Fig. 5. Comparative shapes of crania of males with PC1. (A) Lateral view. (B) Superior view. (C) Anterior view. Black arrows indicate the degree of variations.

5). 얼굴 성장에 대한 기존 연구들은 얼굴의 형태 변화가 유전적 요인뿐만 아니라 음식물, 생활환경, 영양상태와도 관련이 있다고 보고하였다[28]. 이 가운데 씹기 근육의 활동 역시 얼굴 성장에 영향을 미칠 수 있다. 하지만 이번 연구의 결과를 보면, 남성과 여성 모두 얼굴뼈 너비의 변화는 거의 없었다. 그러므로 성별에 따른 얼굴뼈 길이의 변화 양상이 깨물근(masseter muscle) 등의 역학적 스트레스 때문일 가능성은 적다고 판단된다. 깨물근은 관자근(temporal muscle)과 함께 씹기 활동에 관여하는데 그 두께가 두껍고 씹는 힘이 강할수록 얼굴뼈가 짧아지고 넓어지기 때문이다[29-31].

마지막으로 여성 집단의 머리뼈 형태가 갖는 변이 양상은 성장 완료 후 상대성장(static allometry)과 유사했지만 남성 집단은 그렇지 않았다. 성장 완료 후 상대성장은 성인 개체의 크기와 형태가 일정한 연관성을 갖고 변화하는 것을 의미한다. 예를 들어, 성인 여성의 머리뼈 크기에 따라 꼭지돌기의 방향이나 머리뼈 전체에서 꼭지돌기가 차지하는 비율이 일관성 있게 달라질 수 있다. 이러한 관계가 성장 완료 후 상대성장이다. 여성의 머리뼈에 나타난 변이양상은 이러한 성장 완료 후 상대성장과 유사했다[32]. 즉 주성분 1의 점수가 커질 때 머리뼈 전체에서 뇌머리뼈가 차지하는 비율이 얼굴뼈에 비해서 더 커지고 비스듬틀이 위쪽과 뒤쪽으로 움직이며 동시에 머리뼈뒤면의 형태가 동글게 변화하는 경향을 확인할 수 있었다(Figs. 2 and 3). 이러한 변이 양상은 여성의 머리뼈 크기가 작아지면서 나타나는 특징이다[32]. 한편 Rosas와 Bastir (2002)[32]는 남성 집단에서 머리뼈뒤면이 납작해지는 것을 남성 집단의 성장 완료 후 상대성장이라고 분석했다. 하지만 이번 연구에서는 남성 집단의 머리뼈뒤면이 납작해지면서 발생하는 꼭지돌기의 형태 변화가 Rosas와 Bastir (2002)[32]의 연구 결과와는 반대의 경향을 보였다. 즉 Rosas와 Bastir (2002)[32]에서는 머리뼈뒤면이 납작해지면 꼭지돌기가 작아졌지만 이번 연구에서는 머리뼈뒤면이 납작해졌을 때 꼭지돌기가 커졌다(Figs. 4 and 5).

이 연구에서는 조선시대 사람뼈 집단에 나타나는 머리뼈 형태의 변이 양상에 주목하였다. 그리고 집단 전체의 공통적인 특징과 성별에 따라 다르게 나타나는 변이 양상의 특징들을 살펴보았다. 먼저 집단 전체의 머리뼈 길이와 너비가 함께 변화하는 양상을 살펴보고 다음으로 성별에 따라 머리뼈 높이와 얼굴 길이가 변화하는 양상에 차이가 있음을 파악하였다. 마지막으로 여성 집단에 나타난 머리뼈 형태의 변이 양상은 성장 완료 후 상대성장과 유사했지만 남성 집단의 변이 양상은 그러한 경향과 다른 양상을 보였다. 이러한 연구 결과는 한국인의 머리뼈 형태와 관련한 기초자료로서 향후 연구

에 활용될 수 있을 것이다. 특히 조선시대 집단과 다른 집단을 비교할 때 집단 내에 자연스럽게 존재하는 변이를 집단 간의 차이로 결론짓거나 그 변이를 근거로 집단 간 차이의 원인을 성급하게 판단하는 오류만은 피할 수 있을 것이다.

감사의 글

충북대학교 중원문화연구소에 소장된 조선시대 사람뼈 자료를 분석할 수 있도록 허락해 주신 충북대학교 중원문화연구소장님과 관계자 여러분께 이 지면을 빌려 감사의 말씀을 전합니다.

참고 문헌

1. Koh KS, Shon HJ, Rhee EK, Park SJ, Kim HJ, Han SH, et al. Anthropological study on the facial flatness of Korean from the historic to the modern period. *Korean J Phys Anthropol.* 1999; 12(2):211-21. Korean.
2. Im NH. Physical anthropological analysis of the late-Choson people with special reference to skulls from the middle part of Korean peninsula. Thesis for the degree of master. Department of history graduate school, Chungbuk National University; 2001. Korean.
3. Min YS. A study on the secular change of cranial index in Korean. Thesis for the degree of master. Department of Anatomy graduate school, Seoul National University; 2012. Korean.
4. Kim HJ, Paik DJ, Choi BY, Chung MS, Han SH, Hwang YI, et al. Measurement of the zygomatic bones and morphology of the zygomaticofacial and zygomaticotemporal foramina in Korea. *Korean J Phys Anthropol.* 1997; 10(2): 225-34. Korean.
5. Koh KS, Hwang YI, Shon HJ, Han SH, Paik DJ, Kim HJ, et al. Re-evaluation of the orbital dimensions in modern Korean adult skulls. *Korean J Phys Anthropol.* 1995; 8(2): 195-204. Korean.
6. Kim HJ, Kim KD, Choi JH, Hu KS, Oh HJ, Kang MK, et al. Differences in the metric dimensions of craniofacial structures with aging in Korean males and females. *Korean J Phys Anthropol.* 1998; 11(2):197-212. Korean.
7. Lee KH, Paik DJ, Koh KS. Anthropometric study on the face of modern Korean youths I. *Korean J Phys Anthropol.* 2000; 13(4):345-55. Korean.
8. Slice DE. 2005. Modern morphometrics. In: Slice DE, editor. *Modern morphometrics in physical anthropology.* New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2005. p. 1-45.

9. Zelditch ML, Swiderske DL, Sheets HD. Geometric morphometrics for biologists: a primer, 2nd ed. Oxford: Elsevier Academic Press; 2012.
10. Han SH, Hwang YI, LEE KH, Koh KS, Choi BY, Lee KS, et al. Craniometric study in modern Korean adult. *Korean J Phys Anthropol*. 1995; 8(2):205-13. Korean.
11. Klingenberg CP. Cranial integration and modularity: insights into evolution and development from morphometric data. *Hystrix*. 2013; 24(1):43-58.
12. Martínez-Abadías N, Paschetta C, de Azevedo S, Esparze M, González-José R. Developmental and genetic constraints on neurocranial globularity: insights from analysis of deformed skulls and quantitative genetics. *Evol Biol*. 2009; 36:37-56.
13. Martínez-Abadías N, Esparze M, Sjøvold T, González-José R, Santos M, Hernández M, et al. Pervasive genetic integration directs the evolution of human skull shape. *Evolution*. 2012; 66:1010-23.
14. Central Institute of Cultural Heritage. A report on the excavation of Jingwan-dong, Eunpyeong-gu, Seoul; 2009. Korean.
15. Gyeonggi Cultural Properties Institute. A report on the excavation of Manjeong-ri, Anseong; 2009. Korean.
16. Institute of Korean Prehistory. A report on the excavation of Unjeong site, Paju; 2012. Korean.
17. Jungwon Cultural Properties Institute. A report on the excavation of Jisan-dong site, Pyeongtaek; 2006. Korean.
18. Jungwon Cultural Properties Institute. A report on the excavation of Yanggi-ri site, Anseong; 2008. Korean.
19. Jungwon Cultural Properties Institute. A report on the excavation of Dang-dong, Gunpo; 2011. Korean.
20. Institute of Korean Prehistory. A report on the excavation of Sinwon-dong · Wonheung-dong site, Goyang; 2011. Korean.
21. Weisensee KE, Jantz RL. Secular changes in craniofacial morphology of the Portuguese using geometric morphometrics. *Am J Phys Anthropol*. 2011; 145:548-59.
22. Bigoni L, Krajčček V, Sládek V, Velemínský P, Velemínská J. Skull shape asymmetry and the socioeconomic structure of an early Medieval central European society. *Am J Phys Anthropol*. 2013; 150:349-64.
23. Klingenberg CP. MorphoJ: an intergrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour*. 2011; 11(2): 353-7.
24. Takenaka M. Morphological traits of crania in modern Kyongsangnam-do Koreans. *Acta Anat Nippon*. 1994; 69: 645-60.
25. Koh KS, Han SH, Song WC, Sohn HJ, Paik DJ, Kim HJ, et al. Secular changes of cephalic index in Korean adults. *Korean J Phys Anthropol*. 2001; 14(3):177-85. Korean.
26. Angel JL. A new measure of growth efficiency-skull base height. *Am J Phys Anthropol*. 1982; 58:297-305.
27. Wescott DJ, Jantz RL. Assessing craniofacial secular change in American Blacks and Whites using geometric morphometry. In: Slice DE, editor. *Modern morphometrics in physical anthropology*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2005. p. 231-45.
28. Kim JC, Hwang HS, Cho SM. A comparative study on dentofacial morphology between urban and sub-urban children. *Korean J Phys Anthropol*. 1992; 5:187-99. Korean.
29. Ingervall B, Helkimo E. Masticatory muscle force and facial morphology in man. *Archs Oral Biol*. 1978; 23:203-6.
30. Raadsheer MC, Kiliaridis S, Van Eijden TMGJ, Van Ginkel FC, Prahl-Andersen B. Masseter muscle thickness in growing individuals and its relation to facial morphology. *Archs Oral Biol*. 1996; 41:323-32.
31. Tuxen A, Bakke M, Pinholt EM. Comparative data from young men and women on masseter muscle fibres, function and facial morphology. *Archs Oral Biol*. 1999; 44:509-18.
32. Rosas A, Bastir M. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol*. 2002; 117:236-45.

The Study of Cranial Shape Variation in a Population from Joseon Dynasty using Geometric Morphometrics

Hyunwoo Jung¹, EunJin Woo², Sunyoung Pak¹

¹*Bioanthropology Laboratory, Department of Anthropology, College of Social Sciences, Seoul National University*

²*Division in Anatomy & Developmental Biology, Department of Oral Biology, BK21 PLUS Project, Yonsei University College of Dentistry*

Abstract : Traditional morphometrics uses ratios between measured values such as the cranial index and the upper facial index. However, with these ratios alone, it is impossible to represent the shape of the entire cranium in a three-dimensional space because ratio does not express coordinate data. This methodological limitation of traditional morphometrics makes it difficult to evaluate relations between cranial parts. However, it is important to assess relations between cranial parts because cranial parts change their shapes in an integrated way. Therefore, this study adopted geometric morphometrics to overcome the limitations of traditional morphometrics and provide a more enhanced visual analysis of the cranial shape. Using geometric morphometrics, this study focused on variations of cranial shapes in a population from Joseon Dynasty to obtain their specific characteristics.

This study investigated variations of cranial shapes in 57 individuals from Seoul · Gyeonggi province who lived in the 15th to the early 20th centuries. The coordinates of the crania were collected by MicroScribe G2X (Immersion Corporation, USA) and statistically analyzed using principal component analysis.

The results showed that the variations in cranial shapes of females were reflected mostly in width, length of cranium, position of bregma, shape of posterior part of cranium, and length of facial bone. The cranial shapes of the males varied mostly in length, width, height of cranium, size of mastoid process, and length of facial bones. The cranial length became shorter when the cranial width became broader in both sexes. However, cranial height and facial length showed different variations between the two sexes. In addition, the variation in females only showed evidence of static allometry.

The results of this research provide basic information about cranial shapes in a population from Joseon Dynasty and will be useful in future studies such as analysis on between-group differences. By identifying within-group variations first, researchers focusing on between-group differences will likely avoid erroneous conclusions.

Keywords : Cranial shape, Population from Joseon Dynasty, Geometric morphometrics