대한체질인류학회지 제 28 권 제 2 호
Korean J Phys Anthropol Vol. 28, No. 2 (2015) pp. 103~118
http://dx.doi.org/10.11637/kjpa.2015.28.2.103

Original Article

한국인 머리뼈 3차원 영상을 이용한 성별판별: 판별분석을 통한 계측학적 연구

김덕임[1], 이우영[2], 한승호[3]

[1]계명대학교 간호대학 간호학과, [2]가톨릭대학교 의과대학 해부학교실 · 가톨릭응용해부연구소
[3]중앙대학교 의과대학 해부학교실

(2015년 4월 28일 접수, 2015년 6월 9일 수정접수, 2015년 6월 15일 게재승인, Published Online 30 June 2015)

간추림 : 신원확인이 필요한 백골화시신이 발견된 경우 성별판별은 가장 먼저 시행되는 과정으로 머리뼈는 성별판별에 높은 정확도를 보이는 뼈들 중 하나이다. 한국인 머리뼈를 계측하여 계측값으로 성별을 비교한 연구는 있었으나 판별방정식을 제안한 연구는 없었다. 이 연구의 목적은 한국인 3차원 머리뼈 영상을 이용하여 누구나 사용하기 쉽고 정확한 판별방정식을 만들어 제공하는 것에 있다.

102구 시신의 CT 영상을 컴퓨터프로그램을 이용하여 3차원 재구성하고 계측템플릿을 작성하여 총 44개의 항목을 계측하였고 항목들의 급내상관계수, 효과크기, 곡선아래영역값을 기준으로 정확도와 신뢰도가 높은 항목을 분류하여 판별분석하였다.

정확도가 가장 높은 방정식을 사용한 경우 남자가 82.7%, 여자는 82.2% 정확하게 판별되었으며 방정식을 구성하는 항목은 얼굴너비 (BiZ D), 머리뼈바닥길이 (Cb L), 귓바퀴사이너비 (BiA B), 위얼굴너비 (UpF B), 이마직선길이 (FC), 큰구멍너비 (FMa B), 그리고 오른쪽꼭지돌기길이 (Ma L, right)이었다.

한국인 3차원 재구성 머리뼈 영상을 이용한 성별판별분석의 교차유효값은 최소 76.5%에서 최대 86.7%이었다. 다른 인구집단과의 머리뼈 계측값을 비교해 보면 일치하는 항목 대부분이 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며 남자의 경우 유럽인보다 크기가 작았고 여자의 경우 동양인보다 크기가 컸다. 이 연구의 결과는 한국인 머리뼈를 이용한 성별판별에 도움이 될 것이라 생각한다.

찾아보기 낱말 : 3차원 영상, 머리뼈, 판별분석, 계측연구, 한국인

서 론

신원을 확인할 수 없는 백골화시신이 발견된 경우 신원을 밝히기 위해 성별 (sex), 사망 당시 나이 (age at death), 키 (stature), 인구집단 (ethnic origin)을 추정한다. 그 중 성별판별 (sex determination)은 신원확인을 위한 과정 중 가장 먼저 시행되는 중요한 단계로 성별판별의 정확도와 신뢰도는 뼈가 온전한지, 성별의 특징이 얼마나 뚜렷하게 나타나는 인구집단 (population group)인지 등에 의해 결정된다 [1-3]. 성별판별에 사용되는 뼈는 머리뼈 (cranial bone)와 머리뼈 이후뼈대 (postcranial skeleton)로 분류되며 그 중 가장 정확도가 높은 것은 머리뼈 (skull)와 골반뼈 (pelvic bone)로 알려져 있다 [3,4].

머리뼈는 형태학적 특성을 가장 잘 나타내며 환경적 요인에 영향을 가장 적게 받는 부위로 성별을 판별하는 데 유용한 뼈이지만, 종종 인구집단 간의 차이로 인해 동양인 남

이 논문은 2011년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. [NRF-2011-355-E00003]
저자 (들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.
저자 (들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.
교신저자 : 한승호 (중앙대학교 의과대학 해부학교실)
전자우편 : monami@cau.ac.kr

ⓒ 2015 Korean Association of Physical Anthropologists
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/ licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
ISSN 2287-626X (Online) · ISSN 1225-150X (Print)

자의 뼈가 백인 여자 머리뼈처럼 보이기도 하며 그 반대의 경우로 추정되기도 한다 [2,4-8]. 2002년부터 2007년까지 국립과학수사연구소에 의뢰된 290건의 머리뼈 (skull) 중 아래턱뼈를 포함한 머리뼈는 52%, 온전한 형태로 발견된 머리뼈 (cranium)와 아래턱뼈는 각각 60% 정도였고 나머지 40%는 발견되지 않았거나 파손된 상태로 발견되었다 [9]. 이와 같이 머리뼈의 경우 발굴현장이나 범죄현장에서는 부분적 혹은 전체적으로 파손된 상태로 발견되는 경우도 많아 실제 머리뼈를 이용한 신원확인에는 어려움이 있다.

컴퓨터단층촬영이나 방사선 촬영으로 얻은 영상들은 객관적이고 사정할 물적 증거를 영구적으로 보관할 수 있으며 사전 (antemortem), 사후 (postmortem)분석을 비교할 수 있는 자료를 제공하는 장점이 있다. 특히 컴퓨터단층촬영의 경우 유용성이 증가되고 있으며, 많은 사람들이 일생 동안 촬영하는 경우가 한번 이상 있어 많은 경우 사전자료가 확보되어 있으며 또한 점차적으로 기존의 방사선 영상 대신 컴퓨터단층촬영 영상으로 교체되고 있는 추세이다 [3,10]. 컴퓨터단층촬영 영상을 이용하여 3차원으로 재구성한 경우 실제 뼈를 계측한 것과 같은 값을 얻을 수 있으며 축을 따라 쉽게 이미지를 돌려 볼 수 있는 장점들이 있어 3차원 영상은 연구와 교육에 폭넓게 사용되고 있다 [11].

이 연구의 목적은 개발된 컴퓨터 프로그램용 템플릿을 이용하여 한국인 머리뼈 3차원 재구성 영상에 알맞은 성별 판별 방정식을 만들고, 다른 인구집단의 계측값과 판별방정식을 비교하여 인구집단에 알맞은 성별 판별방정식의 필요성을 증명하고, 한국인 머리뼈를 이용한 신원확인, 특히 성별 판별에 유용한 방정식을 제시하는 것에 있다.

재료 및 방법

한국인 시신 CT 영상을 제공하는 Digital Korean Human Model Database (http://digitalman.kisti.re.kr) 중 머리뼈에 질환이나 손상이 없는 남자 50개, 여자 52개의 영상을 3차원 재구성하였다. 사용한 영상의 연령분포는 21세에서 72세이었고 평균나이는 52세이었다. 계측항목은 미국 법과학회 법의인류학과에서 제시한 항목들을 사용하였으며 [12] 총 44개의 계측항목 중 머리뼈 (cranium)는 27개 항목으로 오른쪽과 왼쪽을 모두 계측하는 3개 항목이 포함되어 있고 아래턱뼈 (mandible)는 양쪽을 계측하는 7개 항목을 포함한 17개 항목을 계측하였다 (Table 1).

컴퓨터 프로그램 Mimics (version 10.0, Materialise, Belgium)를 이용하여 CT 영상을 3차원 재구성하였고 같은 프로그램 내 계측도구를 이용하여 표지점 좌표 기반의 계측템플릿을 작성하여 계측하였다 [12]. 3차원 영상을 사용한 계측은 뼈를 직접 계측하는 것과는 달리 손으로 만져 뼈표지점을 확인할 수 없기 때문에 정확한 뼈표지점을 찾기 위해 기준이 될 수 있는 평면 (plane)을 먼저 설정하였다. 그 평면은 눈확위수평면 (Frankfort horizontal plane), 관상면 (frontal plane)과 시상면 (sagittal plane)으로 눈확위수평면을 기준으로 머리뼈의 해부학적 정렬을 맞추고 이 면을 기준으로 나머지 두 개의 면을 만들어 정확한 뼈표지점을 찾는 것에 사용하였다. 계측항목 중 정확한 뼈표지점을 찾기 어려운 3개의 항목들-위턱이틀길이 (maxilla-alveolar length; MaAl L), 아래턱가지최대높이 (maximum ramus height; Max Ra H), 아래턱길이 (mandibular length; Man L)-은 방정식을 이용하여 계산하였다 [13].

머리뼈 3차원 영상을 3명의 연구자가 계측하였고 계측한 값은 컴퓨터프로그램인 SPSS (version 20, IMB, USA)를 사용하여 급내상관계수 (intraclass correlation coefficient; ICC), 수신자조작특성곡선 (receiver operating characteristic curve; ROC curve), 효과크기 (Cohen's *d* value), 대응표본 T검증 (paired t-test), 그리고 판별분석 (discriminant function analysis) 등 통계 분석하였다. 판별분석은 독립변수 모두 진입하는 방법과 단계선택법 (stepwise)을 1) 44개 항목 모두, 2) 수신자조작특성곡선에서 검증률이 높게 나온 항목, 3) 수신자조작특성곡선과 효과크기 분석에서 정확도와 검증률이 높은 항목을 사용하였다.

결 과

총 44개 항목 중 28개 항목 (머리뼈 17개 항목, 아래턱뼈 11개 항목)은 성별에 따라 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 ($P<0.05$). 한 쌍으로 된 10개 항목 중 2개 항목은 오른쪽과 왼쪽이 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 ($P<0.01$) (Table 2). 머리뼈에서는 17개 항목, 아래턱뼈에서는 6개의 항목이 급내상관계수 (ICC)가 0.8 이상으로 최소값은 큰구멍너비 (foramen magnum breadth; FMa B)로 0.008이었고 최대값은 0.976으로 큰구멍앞점-치조점길이 (basion-prosthion length; BaPr L)이었다 (Table 3). 곡선아래영역 (AUC)이 0.7 이상인 항목은 16개, Cohen's *d* 값이 0.8 이상인 항목은 8개 이었고 그 중 검증력이 크다고 할 수 있는 Cohen's *d* 값이 1 이상인 것은 4개 항목이었다 (Table 2 and Table 4). 높은 정확도와 검증력을 나타내는 8개 항목은: 최대머리뼈길이 (maximum cranial length; Max CL), 최대머리뼈높이 (maximum cranial height; Max CH), 얼굴너비 (bizygomatic diameter; BiZ D), 머리뼈바닥길이 (cranial

www.kci.go.kr

Table 1. Definition of cranial and mandibular measurements*.

Part	Abb	Measurement	Landmark	Definition
Cranium	Max CL	Maximum cranial length	g-op	Distance between glabella and opisthocranion in the midsagittal plane, measured in a straight line
	Max CB	Maximum cranial breadth	eu-eu	Maximum width of skull perpendicular to midsagittal plane wherever it is located, with the exception of the inferior temporal lines and the area immediately surrounding them
	BiZ D	Bizygomatic diameter	zy-zy	Direct distance between most lateral points on the zygomatic arch
	Max CH	Maximum cranial height	ba-b	Direct distance from the lowest point on the anterior margin of foramen magnum to bregma
	Cb L	Cranial base length	ba-n	Direct distance from nasion to basion
	BaPr L	Basion-Prosthion length	ba-pr	Direct distance from basion to prosthion
	MaAl B	Maxillo-alveolar breadth	ecm-ecm	Maximum breadth across the alveolar borders of the maxilla measured on the lateral surfaces at the location of the second maxillary molars
	MaAl L	Maxillo-alveolar length	pr-alv	Direction distance from prosthion to alveolon
	BiA B	Biauricular breadth	au-au	Least exterior breadth across the roots of the zygomatic processes
	UpF H	Upper facial height	n-pr	Direct distance from nasion to prosthion
	Min FB	Minimum frontal breadth	ft-ft	Direct distance between the two frontotemporale
	UpF B	Upper facial breadth	fmt-fmt	Direct distance between the two external points on the frontomalar suture
	Na H	Nasal height	n-ns	Direct distance from nasion to the midpoint of a line connecting the lowest points of the inferior margin of the nasal notches
	Na B	Nasal breadth	al-al	Maximum breadth of the nasal aperture
	Or B§	Orbital breadth	d-ec	Laterally sloping distance from dacryon to ectoconchion
	Or H§	Orbital height		Direct distance between the superior and inferior orbital margins
	BiOr B	Biorbital breadth	ec-ec	Direct distance between right and left ectoconchion
	IntOr B	Interorbital breadth	d-d	Direct distance between right and left dacryon
	FC	Frontal chord	n-b	Direct distance from nasion to bregma taken in the midsagittal plane
	PC	Parietal chord	b-l	Direct distance from bregma to lambda taken in the midsagittal plane
	OC	Occipital chord	l-o	Direct distance from lambda to opisthion taken in the midsagittal plane
	FMa L	Foramen magnum length	ba-o	Direct distance from basion to opisthion
	FMa B	Foramen magnum breadth		Distance between the lateral margins of foramen magnum at the points of greatest lateral curvature
	Ma L§	Mastoid length		Vertical projection of the mastoid process below and perpendicular to the eye-ear plane
Mandible	Ch H	Chin height	id-gn	Direct distance from infradentale to gnathion
	BH MeF§	Body height at mental foramen		Direct distance from the alveolar process to the inferior border of the mandible perpendicular to the base at the level of the mental foramen
	BT MeF§	Body thickness at mental foramen		Maximum breadth measured in the region of the mental foramen perpendicular to the long axis of the mandibular body
	BiG W	Bigonial width	go-go	Direct distance between right and left gonion
	BiC B	Bicondylar breadth	cdl-cdl	Direct distance between the most lateral points on the two condyles
	Min Ra B§	Minimum ramus breadth		Least breadth of the mandibular ramus measured perpendicular to the height of the ramus
	Max Ra B§	Maximum ramus breadth		Distance between the most anterior point on the mandibular ramus and a line connecting the most posterior point on the condyle and the angle of the jaw
	Max Ra H§	Maximum ramus height		Direct distance from the highest point on the mandibular condyle to gonion
	Man L§	Mandibular length		Distance of the anterior margin of the chin from a center point on the projected straight line placed along the posterior border of the two mandibular angles
	Man A§	Mandibular angle		Angle formed by the inferior border of the corpus and the posterior border of the ramus

*Most measurements are quoted from 'Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains' by Buikstra and Ubelaker (1994).
§This measurement has both sides.

www.kci.go.kr

Table 2. Intraclass correlation coefficient (ICC) of cranial and mandibular measurements.

Part	Abb.	Variable	Cronbach's α	ICC	p-value
Cranium	Max CL	Maximum cranial length	0.978	0.935	<0.001
	Max CB	Maximum cranial breadth	0.922	0.798	<0.001
	BiZ D	Bizygomatic diameter	0.989	0.968	<0.001
	Max CH	Maximum cranial height	0.935	0.878	<0.001
	Cb L	Cranial base length	0.981	0.945	<0.001
	BaPr L	Basion-Prosthion length	0.992	0.976	<0.001
	MaAl B	Maxillo-alveolar breadth	0.976	0.931	<0.001
	MaAl L	Maxillo-alveolar length	0.683	0.418	<0.001
	BiA B	Biauricular breadth	0.983	0.951	<0.001
	UpF H	Upper facial height	0.944	0.849	<0.001
	Min FB	Minimum frontal breadth	0.962	0.893	<0.001
	UpF B	Upper facial breadth	0.979	0.939	<0.001
	Na H	Nasal height	0.879	0.707	<0.001
	Na B	Nasal breadth	0.974	0.926	<0.001
	Or B*	Orbital breadth(left)	0.814	0.593	<0.001
		Orbital breadth(right)	0.832	0.623	<0.001
	Or H*	Orbital height(left)	0.929	0.814	<0.001
		Orbital height(right)	0.940	0.839	<0.001
	BiOr B	Biorbital breadth	0.976	0.930	<0.001
	IntOr B	Interorbital breadth	0.840	0.637	<0.001
	FC	Frontal chord	0.704	0.543	<0.001
	PC	Parietal chord	0.705	0.544	<0.001
	OC	Occipital chord	0.805	0.674	<0.001
	FMa L	Foramen magnum length	0.977	0.935	<0.001
	FMa B	Foramen magnum breadth	0.023	0.008	0.440
	Ma L*	Mastoid length(left)	0.958	0.919	<0.001
		Mastoid length(right)	0.966	0.934	<0.001
Mandible	Ch H	Chin height	0.944	0.848	<0.001
	BiG W	Bigonial width	0.993	0.979	<0.001
	BiC B	Bicondylar breadth	0.863	0.677	<0.001
	Min Ra B*	Minimum ramus breadth (left)	0.978	0.937	<0.001
		Minimum ramus breadth (right)	0.961	0.891	<0.001
	Max Ra B*	Maximum ramus breadth (left)	0.777	0.538	<0.001
		Maximum ramus breadth(right)	0.749	0.498	<0.001
	Max Ra H*	Maximum ramus height(left)	0.525	0.269	<0.001
		Maximum ramus height (right)	0.451	0.215	<0.001
	Man L*	Mandibular length(left)	0.110	0.040	0.248
		Mandibular length(right)	0.471	0.229	<0.001
	Man A*	Mandibular angle(left)	0.991	0.974	<0.001
		Mandibular angle(right)	0.991	0.973	<0.001

*This measurement has both sides.

base length; Cb L), 위턱이틀너비 (maxilla-alveolar breadth; MaAl B), 오른쪽꼭지돌기길이 (right mastoid length; Ma L, right), 오른쪽턱뼈구멍에서 몸통높이 (right body height at mental foramen; BH MeF, right), 턱뼈각너비 (bigonial width; BiG W)이었다.

1. 모든 항목 적용

항목의 AUC와 Cohen's *d* 값을 고려하지 않고 44개 항목 모두를 이용하여 판별분석한 결과 단계선택법에 의해 머리뼈 항목 6개, 아래턱뼈 항목 4개로 구성된 방정식의 교차유효값 (cross-validated accuracy)이 86.7%로 가장 높았다. 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D = {} & 0.161 \times \text{Ch H} + (-0.209) \times \text{BH MeF (left)} + 0.177 \\ & \times \text{BH MeF (right)} + 0.060 \times \text{BiG W} + (-0.098) \\ & \times \text{Max CB} + 0.189 \times \text{BiZ D} + (-0.128) \\ & \times \text{UpF B} + 0.070 \times \text{FC} + 0.040 \times \text{FMa B} + 0.040 \end{aligned}$$

www.kci.go.kr

Table 3. Results from means, standard deviations, confidence intervals (CI) of difference, and Cohen's d between the sexes (unit: mm).

Variable	Male (n = 50)		Female (n = 52)		Pooled (n = 102)		p-value	95% CI of difference		Cohen's *d*	95% CI for Cohen's *d*	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		Lower	Higher		Lower	Higher
Max CL	175.97	6.72	169.74	7.85	172.79	7.92	<0.001	3.35	9.11	0.85	0.44	1.25
Max CB	134.28	6.90	133.25	8.95	133.75	7.99	0.519	−2.12	4.18	0.13	−0.26	0.52
BiZ D	139.49	5.39	132.42	7.83	135.88	7.60	<0.001	4.42	9.72	1.05	0.63	1.45
Max CH	144.30	4.37	139.13	5.41	141.67	5.55	<0.001	3.23	7.11	1.05	0.63	1.45
Cb L	104.72	4.26	100.97	4.51	102.81	4.76	<0.001	2.03	5.47	0.85	0.44	1.25
BaPr L	96.47	4.72	93.81	4.98	95.12	5.01	0.007	0.75	4.57	0.55	0.15	0.94
MaAl B	67.28	3.01	63.29	4.70	65.25	4.43	<0.001	2.43	5.55	1.01	0.59	1.41
MaAl L	64.55	4.38	63.52	4.89	64.02	4.65	0.268	−0.80	2.86	0.22	−0.17	0.61
BiA B	130.33	5.50	125.58	7.67	127.91	7.07	0.001	2.12	7.38	0.71	0.30	1.10
UpF H	70.14	3.28	68.61	5.01	69.36	4.30	0.071	−0.14	3.20	0.36	−0.03	0.75
Min FB	96.08	4.33	94.22	6.22	95.13	5.43	0.083	−0.25	3.97	0.35	−0.05	0.73
UpF B	108.16	4.45	104.82	6.00	106.46	5.53	0.002	1.26	5.42	0.63	0.23	1.02
Na H	55.47	3.11	53.49	3.41	54.46	3.40	0.003	0.70	3.26	0.61	0.20	1.00
Na B	26.44	1.67	25.82	2.64	26.12	2.23	0.154	−0.25	1.49	0.28	−0.11	0.67
Or B (left)*	37.86	1.71	37.38	2.63	37.61	2.23	0.270	−0.40	1.36	0.22	−0.18	0.60
Or B (right)*	38.64	1.99	37.74	2.83	38.18	2.48	0.066	−0.06	1.86	0.37	−0.03	0.76
Or H (left)	35.12	1.74	35.04	2.06	35.08	1.90	0.836	−0.67	0.83	0.04	−0.35	0.43
Or H (right)	35.10	1.81	35.06	2.04	35.08	1.92	0.918	−0.72	0.80	0.02	−0.37	0.41
BiOr B	99.17	4.40	96.50	6.12	97.81	5.49	0.013	0.57	4.77	0.50	0.10	0.89
IntOr B	24.68	2.35	23.61	2.24	24.13	2.35	0.021	0.17	1.97	0.47	0.07	0.86
FC	116.38	7.54	107.93	7.36	112.08	8.54	<0.001	5.52	11.38	1.13	0.71	1.54
PC	105.50	12.71	108.53	12.20	107.05	12.48	0.222	−7.92	1.86	−0.24	−0.63	0.15
OC	106.12	8.80	102.59	8.78	104.32	8.92	0.045	0.08	6.98	0.40	0.01	0.79
FMa L	35.92	1.90	34.30	2.32	35.09	2.27	<0.001	0.79	2.45	0.76	0.35	1.16
FMa B	35.52	12.09	31.18	6.76	33.31	9.93	0.029	0.51	8.17	0.45	0.05	0.84
Ma L (left)*	27.59	3.47	25.51	2.43	26.53	3.15	0.001	0.91	3.25	0.70	0.29	1.09
Ma L (right)*	28.56	3.80	25.99	2.38	27.25	3.40	<0.001	1.33	3.81	0.81	0.40	1.21
Ch H	29.67	3.19	27.27	3.12	28.47	3.36	<0.001	1.16	3.64	0.76	0.35	1.16
BH MeF (left)	29.08	3.69	27.49	3.26	28.29	3.56	0.023	0.22	2.96	0.46	0.06	0.85
BH MeF (right)	29.48	2.59	26.97	3.04	28.23	3.08	<0.001	1.40	3.62	0.89	0.48	1.29
BT MeF (left)	13.98	1.71	13.18	3.46	13.58	2.75	0.146	−0.27	1.87	0.29	−0.10	0.68
BT MeF (right)	13.86	1.85	12.85	3.50	13.36	2.83	0.074	−0.09	2.11	0.36	−0.03	0.75

Table 3. Continued.

Variable	Male (n = 50)		Female (n = 52)		Pooled (n = 102)		p-value	95% CI of difference		Cohen's *d*	95% CI for Cohen's *d*	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		Lower	Higher		Lower	Higher
BiG W	102.34	5.65	96.46	5.47	99.40	6.27	<0.001	3.70	8.06	1.06	0.64	1.46
BiC B	108.58	12.57	103.59	8.70	106.13	11.08	0.019	0.81	9.17	0.46	0.07	0.84
Min Ra B (left)	35.92	2.90	33.92	3.54	34.92	3.37	0.002	0.73	3.27	0.62	0.22	1.01
Min Ra B (right)	35.67	2.78	33.96	3.02	34.82	3.01	0.004	0.57	2.85	0.59	0.19	0.98
Max Ra B (left)	46.72	5.02	44.44	3.68	45.58	4.53	0.011	0.55	4.01	0.52	0.12	0.91
Max Ra B (right)	46.60	5.52	44.34	3.13	45.47	4.60	0.013	0.50	4.02	0.50	0.11	0.89
Max Ra H (left)	72.16	7.73	67.03	6.62	69.59	7.61	0.001	2.30	7.96	0.71	0.31	1.11
Max Ra H (right)	71.60	8.76	64.67	9.77	68.13	9.87	<0.001	3.28	10.58	0.75	0.34	1.14
Man L (left)	91.44	7.32	89.81	10.61	90.62	9.11	0.368	−1.95	5.21	0.18	−0.21	0.57
Man L (right)	91.55	7.57	88.99	11.49	90.27	9.76	0.188	−1.26	6.38	0.26	−0.13	0.65
Man A (left)	58.18	7.66	55.17	8.58	56.68	8.23	0.065	−0.19	6.21	0.37	−0.02	0.76
Man A (right)	57.57	7.77	55.27	7.90	56.42	7.88	0.143	−0.78	5.38	0.29	−0.10	0.68

*This had both sides and showed statistically significant difference between left and right sides ($P < 0.01$).

× Max Ra H (left) − 20.509

이 방정식의 고유값은 1.818, 정준상관값은 0.803, Wilks 람다는 0.355, 유의확률은 0.001 보다 작았다. 남자집단의 정확도는 93.6%, 여자집단에서의 정확도는 86.3%로 89.8%가 올바로 분류되었다.

2. AUC가 0.7 이상인 항목만 적용

AUC가 중간 이상인 항목은 머리뼈 항목이 11개, 아래턱뼈 항목이 5개이다. 16개 항목을 이용하여 판별분석한 결과 머리뼈 항목만으로 단계선택법을 사용한 방정식 D4의 교차유효값이 82.4%로 가장 높았다 (Table 5). 16개 항목을 개별적으로 판별분석하였을 때 8개의 항목의 교차유효값이 70% 이상이었고 가장 높은 항목은 최대머리뼈높이 (Max CH)와 위턱이틀너비 (MaAl B)로 교차유효값이 74.5%이었다.

$$D4 = 0.291 \times \text{BiZ D} + 0.081 \times \text{Cb L} + (-0.212) \times \text{BiA B} + (-0.126) \times \text{UpF B} + 0.080 \times \text{FC} + 0.038 \times \text{FMa B} + 0.101 \times \text{Ma L (right)} - 20.402$$

3. AUC가 0.7 이상, Cohen's *d* 값이 0.8 이상인 항목만 적용

AUC가 0.7 이상이고 Cohen's *d* 값이 0.8 이상인 항목은 총 8개로 이 항목 모두를 사용한 경우 (D7) 교차유효값은 76.5%, 단계선택법 (D8)을 사용한 경우 77.6%이었다 (Table 5). 8개의 항목 중 최대머리뼈길이 (Max CL)와 오른쪽턱뼈 구멍에서 몸통높이 (BH MeF, right) 항목만 각각 69.9%로 가장 낮았고 나머지 6개 항목은 모두 70% 이상이었다.

$$D8 = 0.075 \times \text{Max CH} + 0.123 \times \text{Ma L (right)} + 0.133 \times \text{BH MeF (right)} + 0.084 \times \text{BiG W} - 26.083$$

AUC와 Cohen's *d* 값을 이용하여 분류한 항목들로만 판별분석하였을 때 교차유효값이 가장 큰 방정식은 D4로 성별판별의 정확도는 남자가 82.7%, 여자는 83.3%이었다.

고 찰

관찰자간오류 (interobserver error)에서 급내상관계수 (ICC)가 높은 계측항목들은 표지점의 정의가 명확하거나 형태적 특징 파악이 비교적 용이한 항목들이며, 낮은 항목들은 눈확 (orbit), 큰구멍 (foramen magnum), 그리고 아래턱뼈 아래모서리 (inferior margin of mandible)와 관련된 항

www.kci.go.kr

Table 4. Results of receiver operating characteristic (ROC) curve analysis.

Variable	AUC	SD	VRP	95% CI of difference	
				Lower	Higher
Max CL	0.761	0.049	0.000	0.666	0.857
Max CB	0.573	0.058	0.212	0.159	0.687
BiZ D	0.831	0.042	0.000	0.748	0.913
Max CH	0.805	0.046	0.000	0.714	0.895
Cb L	0.771	0.049	0.000	0.675	0.868
BaPr L	0.684	0.054	0.002	0.577	0.790
MaAl B	0.807	0.046	0.000	0.716	0.897
MaAl L	0.576	0.058	0.197	0.462	0.690
BiA B	0.761	0.049	0.000	0.665	0.857
UpF H	0.654	0.056	0.009	0.544	0.765
Min FB	0.633	0.056	0.023	0.523	0.744
UpF B	0.727	0.051	0.000	0.627	0.827
Na H	0.691	0.054	0.001	0.586	0.797
Na B	0.635	0.056	0.022	0.524	0.745
Or B (left)	0.597	0.058	0.097	0.484	0.711
Or B (right)	0.631	0.056	0.026	0.520	0.742
Or H (left)	0.509	0.059	0.884	0.393	0.624
Or H (right)	0.503	0.059	0.963	0.387	0.618
BiOr B	0.684	0.054	0.002	0.577	0.790
IntOr B	0.618	0.057	0.045	0.507	0.729
FC	0.784	0.047	0.000	0.693	0.875
PC	0.447	0.058	0.368	0.333	0.562
OC	0.629	0.057	0.028	0.517	0.740
FMa L	0.718	0.052	0.000	0.616	0.821
FMa B	0.728	0.051	0.000	0.629	0.828
Ma L (left)	0.692	0.056	0.001	0.583	0.801
Ma L (right)	0.716	0.055	0.000	0.608	0.825
Ch H	0.700	0.053	0.001	0.596	0.805
BH MeF (left)	0.624	0.057	0.034	0.512	0.736
BH MeF (right)	0.726	0.051	0.000	0.626	0.826
BT MeF (left)	0.683	0.054	0.002	0.577	0.788
BT MeF (right)	0.661	0.056	0.006	0.552	0.771
BiG W	0.792	0.046	0.000	0.701	0.883
BiC B	0.781	0.047	0.000	0.689	0.872
Min Ra B (left)	0.700	0.053	0.001	0.595	0.805
Min Ra B (right)	0.683	0.054	0.002	0.577	0.790
Max Ra B (left)	0.673	0.055	0.003	0.565	0.781
Max Ra B (right)	0.648	0.056	0.012	0.539	0.757
Max Ra H (left)	0.785	0.049	0.000	0.689	0.880
Max Ra H (right)	0.759	0.051	0.000	0.660	0.858
Man L (left)	0.594	0.058	0.109	0.481	0.707
Man L (right)	0.595	0.058	0.106	0.481	0.709
Man A (left)	0.594	0.059	0.109	0.479	0.709
Man A (right)	0.591	0.058	0.120	0.478	0.705

목들이었다 (Table 3). 수신자조작특성곡선 (ROC curve)은 항목의 정확도를 사정하는 것으로 곡선아래영역 (AUC) 값을 이용하여 정보의 정확도를 나타낸다 [14]. Cohen's *d* 값은 가설검증에서 통계적 검증력에 영향을 주는 요인으로 그 값이 0.8 이면 검증력이 크다고 설명할 수 있다 [15]. ICC가 0.8 이상이고 AUC가 0.7 이상, Cohen's *d* 값이 0.8 이상인 항목은 총 44개 항목 중 8개 항목으로 이것은 서로 다른 연구자가 계측해도 오차의 범위가 무시할 수 있을 정도로 작으며, 항목이 남녀 성별판별에 높은 정확도를 가지고 있다고 할 수 있다 [2,14,15].

www.kci.go.kr

Table 5. Discriminant function analysis using 3-dimensional images of skull.

Functions	Coefficient		Eigenvalue	Canonical correlation	Wilk's Lambda	Sectioning point	Accuracy(%)			
	Standardized	Unstandardized					Original			Cross-validated
							Males	Females	Pooled	
D. All variables_stepwise*										
Ch H	0.499	0.161	1.818	0.803	0.355	0.080	93.6	86.3	89.8	86.7
BH MeF (left)	−0.724	−0.209								
BH MeF (right)	0.506	0.177								
BiG W	0.335	0.060								
Max CB	−0.794	−0.098								
BiZ D	1.284	0.189								
UpF B	−0.688	−0.128								
FC	0.516	0.070								
FMa B	0.397	0.040								
Max Ra H (left)	0.291	0.040								
(Constant)		−20.509								
D1. All variables_direct										
Max Ra H (left)	0.164	0.022	1.342	0.757	0.427	0.069	87.2	88.2	87.8	78.6
Max Ra H (right)	−0.004	0.000								
BiG W	0.293	0.052								
BiC B	−0.177	−0.031								
BH MeF (right)	0.321	0.112								
Max CL	0.055	0.007								
BiZ D	1.533	0.229								
Max CH	−0.059	−0.012								
Cb L	0.231	0.053								
MaAl B	0.087	0.022								
BiA B	−1.020	−0.153								
UpF B	−0.800	−0.149								
FC	0.439	0.059								
FMa L	0.258	0.120								
FMa B	0.330	0.033								
Ma L (right)	0.278	0.090								
(Constant)		−23.067								
D2. All variables_stepwise										
BiG W	0.457	0.081	0.788	0.664	0.559	0.053	78.7	80.4	79.6	78.6
BH MeF (right)	0.349	0.122								

Table 5. Continued.

Functions	Coefficient		Eigenvalue	Canonical correlation	Wilk's Lambda	Sectioning point	Accuracy(%)			
							Original			Cross-validated
	Standardized	Unstandardized					Males	Females	Pooled	
FC	0.485	0.066								
FMa B	0.313	0.032								
Ma L (right)	0.332	0.108								
(Constant)		−22.876								
D3. Cranium_direct										
Max CL	0.033	0.004	1.127	0.728	0.470	0.041	86.0	86.5	86.3	80.4
BiZ D	1.733	0.257								
Max CH	0.063	0.013								
Cb L	0.249	0.057								
MaAl B	0.121	0.030								
BiA B	−1.339	−0.200								
UpF B	−0.653	−0.123								
FC	0.539	0.072								
FMa L	0.228	0.107								
FMa B	0.352	0.036								
Ma L (right)	0.343	0.108								
(Constant)		−22.587								
D4. Cranium_stepwise										
BiZ D	1.966	0.291	1.058	0.717	0.486	0.040	80.4	82.7	83.3	82.4
Cb L	0.358	0.081								
BiA B	-1.418	−0.212								
UpF B	-0.668	−0.126								
FC	0.594	0.080								
FMa B	0.368	0.038								
Ma L (right)	0.320	0.101								
(Constant)		−20.402								
D5. Mandible_direct										
BH MeF (right)	0.411	0.145	0.609	0.615	0.621	0.015	80.4	78.4	79.4	79.4
BiG W	0.488	0.088								
BiC B	0.386	0.059								
Max Ra H (left)	0.297	0.041								
Max Ra H (right)	0.071	0.008								
(Constant)		−22.581								

Table 5. Continued.

Functions	Coefficient		Eigenvalue	Canonical correlation	Wilk's Lambda	Sectioning point	Accuracy(%)			
	Standardized	Unstandardized					Original			Cross-validated
							Males	Females	Pooled	
D6. Mandible_stepwise										
BH MeF (right)	0.425	0.150	0.608	0.615	0.622	0.015	80.4	78.4	79.4	79.4
BiG W	0.486	0.087								
BiC B	0.399	0.061								
Max Ra H (left)	0.336	0.047								
(Constant)		−22.741								
D7. Cranium + Mandible_direct										
Max CL	0.146	0.020	0.679	0.636	0.596	0.050	83.0	82.4	82.7	76.5
Max CH	0.286	0.059								
BiZ D	0.114	0.017								
Cb L	−0.102	−0.023								
MaAl B	0.216	0.054								
Ma L (right)	0.306	0.099								
BH MeF (right)	0.320	0.112								
BiG W	0.373	0.066								
(Constant)		−27.573								
D8. Cranium + Mandible_stepwise										
Max CH	0.365	0.075	0.625	0.620	0.615	0.047	78.7	80.4	79.6	77.6
Ma L (right)	0.380	0.123								
BH MeF (right)	0.380	0.133								
BiG W	0.473	0.084								
(Constant)		−26.083								

*This equation was not effected by AUC and Cohen's *d* value and took advantage of 44 variables.
Two equations, D7 and D8, were built up variables that were sorted by AUC (> 0.7) and Cohen's *d* value (> 0.8).

www.kci.go.kr

Table 6. Comparison of mean values between this study and other population groups (unit: mm)

	This study (2015)		Franklin et al. (2013)		Ogawa et al. (2013)		Guyomarch & Bruzek (2011)				Saini et al. (2011)		Dayal et al. (2008)		Steyn & İşcan (1998)	
Population	Korean		W. Australian		Japanese		French		Thai		Indian		S. African Black		S. African White	
Materials	3D image		3D image		Bone		Bone		Bone		Bone		Bone		Bone	
Sex (N)	M (50)	F (52)	M (190)	F (190)	M (73)	F (40)	M (24)	F (21)	M (46)	F (44)	M (82)	F (30)	M (60)	F (60)	M (43)	F (46)
Max CL	175.97 ±6.72	169.74 ±7.85	189.6 ±7.09	179.5 ±6.59	179.4 ±6.56	169.4 ±7.04*	179.3 ±6.8*	174.4 ±7.5	170.0 ±7.0	167.1 ±8.2*			188.45 ±5.60	181.58 ±6.12	187.7 ±5.45	179.0 ±5.85
Max CB	134.28 ±6.90	133.25 ±8.95			145.9 ±5.44	140.6 ±5.27	133.3 ±7.8*	131.8 ±7.3*	142.7 ±6.7	140.6 ±5.1						
BiZ D	139.49 ±5.39	132.42 ±7.83	132.1 ±4.81	122.8 ±4.66	136.5 ±4.75	129.0 ±3.84	131.7 ±4.9	123.2 ±4.7	130.2 ±5.9	127.2 ±4.9	127.18 ±3.67	120.52 ±4.67	130.60 ±4.71	123.97 ±5.03	128.9 ±4.41	121.9 ±3.49
Max CH	144.30 ±4.37	139.13 ±5.41			142.2 ±5.47	134.0 ±3.79	133.3 ±6.6	128.8 ±4.8	135.3 ±7.4	134.6 ±4.4			133.05 ±5.95	128.45 ±5.19	136.8 ±4.08	130.5 ±5.30
Cb L	104.72 ±4.26	100.97 ±4.51	106.2 ±4.65	99.2 ±4.07	103.8 ±4.74*	96.3 ±4.04	99.4 ±4.3	95.5 ±4.4	97.6 ±5.4	95.2 ±4.6			101.63 ±3.84	97.57 ±3.56	102.4 ±4.48	96.2 ±4.10
BaPr L	96.47 ±4.72	93.81 ±4.98	97.2 ±5.50*	91.0 ±5.58			91.8 ±5.4	86.9 ±5.4	97.6 ±5.4	95.2 ±4.6*	96.23 ±4.54	94.20 ±3.40*	101.40 ±5.36	98.57 ±4.88	95.4 ±5.39*	90.0 ±5.03
MaAl B	67.28 ±3.01	63.29 ±4.70	62.2 ±5055	57.7 ±5.36												
BiA B	130.33 ±5.50	125.58 ±7.67	126.8 ±5.17	121.2 ±5.07												
UpF H	70.14 ±3.28	68.61 ±5.01					66.6 ±6.3	60.8 ±3.9	68.9 ±4.7*	66.8 ±4.3*	66.47 ±3.55	64.07 ±4.05			71.3 ±3.91*	66.0 ±5.13*
Min FB	96.08 ±4.33	94.22 ±6.22											98.83 ±4.35	95.82 ±4.25*		
UpF B	108.16 ±4.45	104.82 ±6.00			105.7 ±3.85	99.8 ±3.92	94.2 ±4.1	92.3 ±4.8	92.1 ±4.4	91.7 ±4.2					53.7 ±3.54	49.8 ±2.18
Na H	55.47 ±3.11	53.49 ±3.41	54.3 ±3.08	51.0 ±2.84							49.59 ±2.62	47.13 ±3.75	48.29 ±3.47	46.12 ±2.42	24.8 ±2.21	22.9 ±2.06
Na B	26.44 ±1.67	25.82 ±2.64	24.8 ±2.22	23.9 ±2.11			23.3 ±1.8	23.5 ±2.1	26.3 ±1.9*	26.2 ±2.2*	25.31 ±1.73	24.97 ±1.70*	27.93 ±1.91	27.09 ±1.94		
Or B	37.86 ±1.71	37.38 ±2.63	41.2 ±2.04	39.1 ±1.74							39.08 ±1.84	37.83 ±1.17*	42.62 ±1.91	41.10 ±1.75		
Or H	35.12 ±1.81	35.04 ±2.06									32.67 ±1.46	32.21 ±1.74	33.63 ±2.00	33.65 ±2.25		
BiOr B	99.17 ±4.40	96.50 ±6.12									96.18 ±3.34	93.15 ±2.58				
IntOr B	24.68 ±2.35	23.61 ±2.24									20.39 ±1.90	17.79 ±1.67				
FC	116.38 ±7.54	107.93 ±7.36					112.1 ±5.8	108.5 ±5.5*	110.9 ±5.7	109.9 ±5.3*						
PC	105.50 ±12.7	108.53 ±12.20					111.7 ±6.9	108.2 ±7.6*	107.4 ±5.7*	106.3 ±6.6*						

www.kci.go.kr

Table 6. Continued.

	This study (2015)		Franklin et al. (2013)		Ogawa et al. (2013)		Guyomarch & Bruzek (2011)			Saini et al. (2011)		Dayal et al. (2008)		Steyn & İşcan (1998)	
Population	Korean		W. Australian		Japanese		French		Thai	Indian		S. African Black		S. African White	
Materials	3D image		3D image		Bone		Bone		Bone	Bone		Bone		Bone	
Sex (N)	M (50)	F (52)	M (190)	F (190)	M (73)	F (40)	M (24)	F (21)	M (46)	F (44)	M (82)	F (30)	M (60)	F (60)	M (43)	F (46)
OC	106.12 ±8.80	102.59 ±8.78					97.2 ±5.4	95.8 ±6.8	96.1 ±5.9	97.1 ±5.6						
FMa L	35.92 ±1.90	34.30 ±2.32	39.3 ±2.50	37.6 ±2.61												
Ma L	28.56 ±3.80	25.99 ±2.38	31.2 ±3.58	26.6 ±3.39*												
BiG W	102.34 ±5.65	96.46 ±5.47			102.3 ±5.66*	95.5 ±5.13*							96.70 ±6.54	89.75 ±5.67	99.6 ±5.48	91.5 ±4.99
BiC B	108.58 ±12.6	103.59 ±8.70			125.0 ±4.88	121.2 ±3.80							114.54 ±5.64	110.20 ±4.79	117.0 ±5.33	111.2 ±6.15
Min Ra B	35.92 ±2.90	33.92 ±3.54													31.1 ±3.59	28.5 ±2.45

* That was not showed statistically significant difference between population groups ($P>0.05$), the rest was showed statistically significant difference among population groups ($P<0.05$).

머리뼈와 골반뼈는 성별판별에 있어서 높은 정확도를 가지고 있으며 머리뼈만으로도 남녀 성별판별의 정확도는 80~92%, 골반뼈만 사용한 경우 정확도는 90~95%이며 두 개의 뼈를 모두 사용할 경우 90~100%의 정확도를 보인다 [3,16,17]. 또한 인구집단 간 그 특징을 잘 반영하고 있는 뼈들 중 가장 넓게 연구되고 있는 것이 머리뼈이다 [18]. 한국인 뼈를 사용한 성별판별 연구들의 결과를 살펴보면 목뿔뼈 88.2% [1], 발꿈치뼈 65.4~89.4% [2], 넙다리뼈의 안쪽·가쪽관절융기 72.3~90.1% [5], 골반뼈는 60% 이상 [16], 목말뼈 67.1~87.1% [19], 고리뼈 93.9% [20], 정강뼈 84.8% [21], 그리고 아래턱뼈를 이용한 판별방정식의 정확도는 50.4~88.8%이었다 [22,23]. 이와 같이 성별을 판별할 수 있는 방정식을 제공하기 위해 여러 뼈들을 이용하여 계측값을 판별분석한 연구 결과는 있으나 높은 정확도를 가지고 있다는 머리뼈의 경우 한국인을 대상으로 한 판별방정식은 없었다. 한국인 머리뼈 3차원 영상을 이용한 이 연구에서 성별 판별분석의 교차유효값은 최소 76.5%에서 최대 86.7%이었다 (Table 5).

한국인 3차원 머리뼈 영상 계측값과 다른 인구집단의 머리뼈 계측값을 비교한 결과 유럽인 [24,25], 동양인 [17,25,26], 그리고 아프리카 흑인과 백인 [27,28]과는 일치하는 항목의 대부분이 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 ($P<0.05$) (Table 6). 3차원 머리뼈 영상을 이용한 Franklin 등 [24]의 연구와 일치하는 항목 10개 모두 여자는 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나 ($P<0.05$), 남자는 큰구멍앞점-치조점길이 (BaPr L) 항목만 차이가 없었다. 한국인 여자 머리뼈는 오스트레일리아인의 계측항목과 일치하는 10개 모두 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며, 남자 머리뼈는 인도인 (9개 항목)과 아프리카인 (12개 항목)과 일치하는 항목 모두 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 (Table 6). 통계학적으로 유의한 차이가 없는 항목들을 살펴보면 남자는 인구집단 간 공통된 항목이 없으나 여자는 동양인과의 비교에서 최대머리뼈길이 (Max CL), 큰구멍앞점-치조점길이 (BaPr L), 그리고 코너비 (nasal breadth; Na B)는 차이가 통계학적으로 유의하지 않았다. 한국인 여자의 경우 머리뼈 길이가 일본인, 태국인과 비슷하고 뼈콧구멍 (aperture piriformis) 의 너비는 태국인, 인도인과 비슷하였다.

머리뼈를 이용한 판별분석 결과를 비교해 보면 정확도가 가장 높은 판별방정식은 이 연구를 비롯해서 다른 인구집단의 연구에서도 모두 머리뼈 (cranium) 항목으로 구성되어 있으며 방정식을 구성하는 항목이 최소 1개에서 최대 7개로 구성되어 있었다 (Table 7). 이 연구의 결과와 비교한 6개 논문의 7개 방정식을 구성하고 있는 항목들 중 가장 많이 사용된 것은 얼굴너비 (BiZ D), 최대머리뼈길이 (Max CL),

www.kci.go.kr

Table 7. Comparison of discriminant function equation using cranium between this study and other population groups.

	Method	Variable	Unstandardized coefficient	Wilk's Lambda	Sectioning point	Accuracy (%)	
						Original group	Cross-validated group
This study (2015)	Stepwise	BiZ D	0.291	0.486	0.04	83.3	82.4
		Cb L	0.081				
		BiA B	−0.212				
		UpF B	−0.126				
		FC	0.080				
		FMa B	0.038				
		Ma L (right)	0.101				
		Constant	−20.402				
Franklin et al. (2013)	Stepwise	Max CL	0.068		0	90	
		BiZ D	0.142				
		Ma L (right)	0.094				
		Constant	−33.577				
Ogawa et al. (2013)	Stepwise	Max CL	0.037		0	89.9	
		Cb L	0.106				
		Max. Frontal B*	0.092				
		UpF B	0.074				
		Constant	−35.76				
Guyomarch & Bruzek (2011): French	Giles & Elliot (1963)	Max CL	2.867			80	
		BaPr L	−0.233				
		BiZ D	12.367				
		UpF H	6.900				
Guyomarch & Bruzek (2011): Thai	Henke (1973)	Max CH	1.108			65.9	
		Cb L	4.744				
Saini et al. (2011)	Stepwise	BiZ D	0.252	0.638	−0.381	85.5	85.5
		Constant	−31.572				
Dayal et al. (2008)	Stepwise	Max CL	0.068	0.579	0	80.8	80.8
		Max CH	0.069				
		BiZ D	0.097				
		Na H	0.121				
		Constant	−39.653				
Steyn & İşcan (1998)	Stepwise	Max CL	0.050		0.038	85.7	
		BiZ D	0.079				
		Cb L	0.006				
		Max CH	0.039				
		Na H	0.127				
		Na B	0.088				
		Constant	−39.551				

*That was not accorded with variables of this study.

www.kci.go.kr

Table 8. Comparison of accuracy using equations from other studies.

Study	Population group	Equation	Accuracy (%)		
			Male	Female	Pooled
This study (2015)	Korean	D4	82	86.6	84.3
Franklin et al. (2013)	W. Australian	Function 2	74	78.8	76.5
Ogawa et al. (2013)*	Japanese	Function 4	84	71.2	77.5
Saini et al. (2011)	India	Function 1	100	7.7	52.9

*Function 1 in Ogawa study was the best equation but one variable was not matched of this study. Function 4 was the second best equation to determine sex in Japanese and all variables in Function 4 were matched this study.

머리뼈바닥길이 (Cb L), 그리고 최대머리뼈높이 (Max CH) 순이다. 이 연구와 비교한 6개의 논문 중 3차원 영상을 이용한 Franklin 등의 논문 [24]과 일본인을 대상으로 한 논문 [17], 그리고 하나의 항목만으로 높은 정확도를 가진 방정식 [26]을 이용하여 이 연구에서 계측한 값을 대입하여 성별판별의 정확도를 확인하였다 (Table 8). 유럽인을 대상으로 만들어진 방정식에 이 연구의 계측값을 이용한 경우 약 76%의 정확도를 보였으며 남자보다 여자가 더 정확하게 판별되었고 같은 방법으로 일본인을 대상으로 만들어진 방정식으로는 남자가 더 정확하게 판별되었다. 인도인을 대상으로 한 하나의 항목으로 구성된 방정식은 판별의 정확도가 85.5%이었고 방정식에 계측값을 넣어 계산한 결과 한국인 남자는 모두 남자로 구분되었으나 여자의 경우 7.7%의 정확도를 나타내어 여자 머리뼈 대부분을 남자의 머리뼈로 잘못 구분하였다. 한국인 얼굴너비 (BiZ D)의 평균값은 인도인의 평균값과 비교했을 때 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며 특히 한국인 여자의 얼굴너비 평균값이 인도인 남자의 평균값보다 커 여자의 대부분이 남자로 판별된 것으로 생각된다. 이와 같은 차이는 Franklin 등 [24]은 이 연구와 같은 3차원 영상을 이용하였고 Ogawa 등 [17]은 우리나라와 지리학적으로 가까운 나라이기 때문에 그들의 방정식을 이용하였을 경우에도 남자와 여자의 판별 정도가 비슷하였으나 Saini 등 [26]은 유럽인에 가까운 인구집단인 북인도인의 뼈를 이용하였기 때문일 것이라 생각한다.

한국인 머리뼈 3차원 영상을 이용한 남녀 성별판별은 교차유효값이 76.5~86.2% 이었다. 다른 인구집단의 계측값과 비교하였을 때 거의 모든 항목이 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며 유럽인, 동양인, 아프리카인을 대상으로 한 판별방정식에 한국인 머리뼈 계측값을 이용하여 남녀 판별을 한 결과 남자는 유럽인의 머리뼈보다 작았고 여자는 일본인, 인도인보다 머리뼈가 크다는 것을 추측할 수 있었다. 이러한 연구의 결과로 특정인구집단에 알맞은 방정식이 필요함을 제안할 수 있다. 이 연구에서 도출된 방정식은 추후 현장에서 발견된 한국인 머리뼈 3차원 영상을 이용한 성별판별에 도움을 줄 것이라고 생각한다. 추후 인구집단 간 특징을 나타내는 항목과 그 항목의 한국인 기준값을 도출해 낸다면 좀 더 쉽고 정확한 인구집단별 성별을 확인할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Kim DI, Lee UY, Park DK, Kim YS, Han KH, Kim KH, et al. Morphometrics of the hyoid bone for human sex determination from digital photographs. J Forensic Sci. 2006; 51:979-84.
2. Kim DI, Kim YS, Lee UY, Han SH. Sex determination from calcaneus in Korean using discriminant analysis. Forensic Sci Int. 2013; 228:177e.1-177e.7.
3. Thompson T, Black S. Forensic Human Identification, An introduction, Boca Raton, CRC Press, pp 199-226, 2007.
4. Byers SN. Introduction to Forensic Anthropology, 4th ed., Boston, Pearson, pp 151-65, 2011.
5. Kim DI, Kwak DS, Han SH. Sex determination using discriminant analysis of the medial and lateral condyles of the femur in Koreans. Forensic Sci Int. 2013; 233:121-5.
6. Han SH, Hwang YI, Lee KH, Koh KS, Choi BY, Lee KS, et al. Craniometric study in modern Korean adults. Korean J Phys Anthropol. 1995; 8:205-13.
7. 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; 11:197-212.
8. White TD, Folkens PA. The human bone manual, Burlington, Elsevier, pp 385-7, 2005.
9. Kim DI, Lee SS, Kim YS. Statistical analysis of bone elements excavated from the forensic context. Korean J Phys Anthropol. 2010; 23:1-8.
10. Kim DI, Lee UY, Park SO, Kwak DS, Han SH. Identification using frontal sinus by three-dimensional reconstruction from computed tomography. J Forensic Sci. 2013; 58:5-12.
11. Park SH, Yu HS, Kim KD, Lee KJ, Baik HS. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop.

www.kci.go.kr

2006; 129:600.e23-600.e34.
12. Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. Arkansas Archaeological Survey Research Series No. 44. Fayetteville.
13. Lee UY, Park DK, Kim YS, Lee SS, Kwak DS, Kim DH, et al. Construction of 3 dimensional head models for forensic anthropology. Oral presentation 26. World Forensic Festival 2014. Seoul, p133, 2014.
14. Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science. 1988; 240:1285-93.
15. Wikimedia Foundation, InC.. Wikipedia. Effect size [Internet]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Effect_size
16. Choi BY, Chung IH. Sex discrimination with the metric measurements of the Korean dried pelvic bones by discriminant function analysis. Korean J Phys Anthropol. 1999; 12:151-7.
17. Ogawa Y, Imaizumi K, Miyasaka S, Yoshino M. Discriminant functions for sex estimation of modern Japanese skulls. J Forensic Leg Med. 2013; 20:234-8.
18. Perera P, Pathmeswaran A. A Pilot study on assessment of racial affinity of Sri Lankan population using discriminant function statistics and a few established morphological racial traits. Leg Med. 2009; 11:S182-5.
19. Lee UY, Han SH, Park DK, Kim YS, Kim DI, Chung IH, et al. Sex determination from the talus of Koreans by discriminant function analysis. J Forensic Sci. 2012; 57:166-71.
20. Park DK, Ra JJ, Park KH, Ko JS, Kim DI, Kim YS, et al. Determination of sex in Koreans using atlas. Korean J Phys Anthropol. 2009; 22:205-12.
21. Lee JH, Han HS, Chung IH. Sex determination from the tibia in Korean population. Korean J Phys Anthropol. 2010; 23:61-6.
22. Lin C, Jiao B, Liu S, Guan F, Chung NE, Han SH, et al. Sex determination from the mandibular ramus flexure of Koreans by discrimination function analysis using three-dimensional mandible models. Forensic Sci Int. 2014; 236: 191.e1-191.e6.
23. Hu KS, Koh KS, Jung HS, Kang MK, Choi BY, Kim HJ. Physical anthropological characteristics and sex determinative analysis by the metric traits of Korean mandibles. Korean J Phys Anthrop. 2000; 13:369-82.
24. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A. Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population. Forensic Sci Int. 2013; 229:158.e1-158.e8.
25. Guyomarc'h P, Bruzek J. Accuracy and reliability in sex determination from skulls: A comparison of Fordisc® 3.0 and the discriminant function analysis. Forensic Sci Int. 2011; 208:180.e1-180.e6.
26. Saini V, Srivastava R, Rai RK, Shamal SN, Singh TB, Tripathi SK. An osteometric study of northern Indian populations for sex dimorphism in craniofacial region. J Forensic Sci. 2011; 56:700-5.
27. Dayal MR, Spocter MA, Bidmos MA. An assessment of sex using the skull of black South Africans by discriminant function analysis. HOMO. 2008; 59:209-21.
28. Steyn M, İşcan Y. Sexual dimorphism in the crania and mandibles of South African whites. Forensic Sci Int. 1998; 98:9-16.

www.kci.go.kr

Sex Determination Using Three-dimensional Image of Skull in Korean: Metric Study by Discriminant Function Analysis

Deog-Im Kim[1], U-Young Lee[2], Seung-Ho Han[3]

[1]*Department of Nursing, College of Nursing, Keimyung University*
[2]*Department of Anatomy · Catholic Institute for Applied Anatomy, College of Medicine, The Catholic University of Korea*
[3]*Department of Anatomy, College of Medicine, Chung-Ang University*

Abstract : Sex determination is considered the first and most important process in the identification of unknown skeletal remains. The skull is one of bones with high accuracy to discriminate sexes, but there is no dimorphic studies of Korean skull by discriminant function analysis. The aim of this study was to build and provide an easy and accurate discriminant equation to sex determination by using three-dimensional skull images of Korean.

Computed tomography images from 102 cadavers were reconstructed three-dimensional images by computer program. We measured 44 variables using the template in computer program and variables were sorted out items with high accuracy and reliability by intraclass correlation coefficient (ICC), Cohen's *d* value, and receiver operating characteristic (ROC) curve.

The equation with the highest accuracy had 82.7% in males, 82.2% in females, it was constituted bizygomatic diameter, cranial base length, biauricular breadth, upper facial breadth, frontal chord, foramen magnum breadth, and right mastoid length.

The cross-validated accuracy had 76.5%~86.7% using 3D skull images in Koreans. The value of variables that matches the other population group study, most of variables had a statistically significant difference among population groups. Male skulls in Koreans were smaller than those in European and female skulls were bigger than in Asian. This result should be helpful to determine sex in Koreans.

Keywords: Three-dimensional images, Skull, Discriminant function analysis, Metric study, Korean

Correspondence to : Seung-Ho Han (Department of Anatomy, College of Medicine, Chung-Ang University)
E-mail : monami@cau.ac.kr

www.kci.go.kr