

한국인 무릎뼈 3차원 모델을 이용한 성별 판별

이지현¹, 박재현¹, 김동호¹, 이원준², 이우영¹

¹가톨릭대학교 의과대학 해부학교실·응용해부연구소, ²국립과학수사연구원 서울과학수사연구소 법의학과

Sex Estimation Using 3D Models of the Patella in Koreans

Jihyun Lee¹, Jaehyeon Park¹, Dong-ho Kim¹, Won-Joon Lee², U-Young Lee¹

¹Catholic Institute for Applied Anatomy·Department of Anatomy, College of Medicine, The Catholic University of Korea

²Division of Forensic Medicine, National Forensic Service Seoul Institute

Abstract : Forensic anthropological identification based on human bones is generally conducted in cases where skeletal remains are discovered, such as in large-scale disasters, wars, and archaeological excavations. The most commonly used bones for sex estimation are the skull and pelvis, but when these bones are damaged or fragmented, making estimation difficult, there is a growing need for research on other bones that can be used as substitutes. This paper focuses on the patella, which is dense and resistant to postmortem changes. Among a total of 181 CT data sets of Korean bodies, the patellae of 158 individuals (aged 18 to 78) excluding those who had undergone surgery, children, and those with deformities were reconstructed into 3D images using Mimics. To accurately label the landmarks on the 3D model, reference planes were created for the sagittal, coronal, and transverse planes, and eight landmarks were generated. Based on the landmarks, we measured the size of the patella (patella width, patella height, patella thickness) and the articular surface (articular surface height, PS-PRI height, distal pole height, medial facet height, lateral facet height) and performed statistical analysis. Descriptive statistics, univariate discriminant analysis, and stepwise discriminant analysis were performed, and direct discriminant analysis was performed by selecting three items (height, width, and depth) that constitute the size of the patella. The descriptive statistics showed that there was a significant difference in the measured values of the patella between men and women. The univariate discriminant analysis showed that height (77.2%) and width (77.2%) had the highest classification results, and the stepwise discriminant analysis also selected the equation consisting of height and width, showing a classification result of 78.5%. Finally, direct analysis of the height, width, and depth of the patella showed a classification result of 78.5%. These results confirm that sex estimation using the patella is meaningful for Koreans and will be helpful in the field of forensic anthropology in the future.

Keywords : Sex estimation, Patella, 3D modeling, Metric method, Forensic anthropology

서론

저자(들)는 ‘의학논문 출판윤리 가이드라인’을 준수합니다.
저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: August 5, 2025; **Revised:** September 1, 2025;

Accepted: September 3, 2025

Correspondence to: 이우영 (가톨릭대학교 의과대학 해부학교실·가톨릭응용 해부연구소)

E-mail: cicloaum@gmail.com

사람뼈를 바탕으로 한 법의인류학적 개인 식별항목(biological profile)에 관한 추정은 해부학, 인류학, 법의학적으로 중요한 의미를 갖는다[1]. 개인 식별항목에는 성별(sex), 키

(height), 사망 당시 나이(age), 인구집단(ethnicity)이 포함되며, 이를 추정하기 위한 연구가 다양한 뼈들을 대상으로 진행되어왔다. 이와 같은 법의인류학적 분석은 신원 확인의 대상이 되는 범위를 좁히는 데 기여를 하며, 신원을 확정 짓는 다른 요소들과 함께 최종판단을 하기 위한 실증적 근거를 제시하는 의미를 갖는다[2].

성별 추정에 있어서 가장 일반적으로 사용되는 것은 머리뼈, 골반이며 머리뼈의 경우 92%의 정확도를, 골반의 경우 95%의 정확도를 보이고 두 뼈를 동시에 사용했을 경우 정확도는 98%까지 증가한다[3]. 그러나 대규모 재난, 전쟁, 대형 사고 등의 현장에서는 온전한 유해가 아닌 파손된 상태로 발견되는 경우가 많고[3], 이렇게 손상되거나 조각난 사람뼈는 성별 추정에 사용하기 어려우며 추정의 정확도가 떨어진다는 문제점이 존재한다. 따라서 해당 뼈들을 대체할 수 있는 다른 뼈들에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있으며 그중 크기가 작고 단단한 무릎뼈에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1,3-4]. 무릎뼈는 몸에서 가장 큰 종자뼈로, 무릎 관절의 앞쪽면에 위치한다. 넓적다리네갈래근의 힘줄에 위치하고 있고 특유의 높은 밀도로 인해 사후 변화에 강한 특성을 가지고 있어 개인 식별항목 추정에 적합하다[5].

사람뼈의 성별을 추정하는 방법에는 마른뼈를 직접 계측하는 형태학적 계측[3,5,6], 컴퓨터 단층촬영(CT) [7] 또는 자기공명영상(MRI)을 기반으로 한 계측[4,8], 그리고 기하학적 형태 분석(Geometric Morphometric Analysis) 등의 여러 가지 방법이 있다[9].

계측된 정보를 해석하는 방식에는 그룹을 구분하는 기준점을 직접적으로 제시할 수 있는 판별 함수 분석, 회귀 함수 분석을 사용하는 방식과, 그룹별로 변화의 양상을 확인할 수 있는 기하학적 형태 분석 등이 있다. 일반적으로는 판별 함수 분석 방식이 유골의 성별 분류에 가장 널리 사용되는 통계적 방법이다[9]. 기하학적 형태 분석은 성별 추정에 적합한 방법으로 여겨지지만, 가장 큰 단점은 사용 가능한 계측점의 수가 표본의 형태를 정의하기에 충분하지 않을 수 있다는 점이다. 또한 분석 과정에서 많은 시간이 소요된다. 반면 판별 함수 통계를 활용한 분석은 신원 미상의 유해에서 성별을 추정하는 데 있어 점차 널리 사용되고 있는데, 이는 성별 추정에서 주관적인 판단을 배제하고, 선행 경험 없이도 간편하게 적용할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 판별 함수 분석은 성별 추정을 위한 통계 방식 중 가장 널리 사용되며, 이를 통해 법의학자들은 인류학적 데이터의 정확성을 높이고, 새로운 정보를 반영할 수 있다[10,11]. 이 방법은 성별을 정확하게 추정할 수 있는 변수들을 조합하여, 그룹 간 차이를 최대화하는 방식으로 작동한다. 무릎뼈의 형태학적 분석 또한 판별 함수 방정식을 도출해서 성적 이형성을 추측하는 방식으로 진

행된다[12].

무릎뼈로 성별을 추정하기 위한 판별 함수 연구가 해외에서는 다수 이루어졌으며 높은 정확도를 보였으나[8,13-15], 국내 선행 연구는 부족한 현황이다. 따라서 본 연구에서는 CT 자료를 대상으로 한국인의 무릎뼈를 3차원 모델링하여 기하학적 형태 분석을 통해 계측하고 성별 판별 함수를 도출하여 한국인의 무릎뼈에 특정한 판별 함수식을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

국립과학수사연구원으로부터 총 98명(남성 50명, 여성 48명)에 대한 부검 시신의 전신 CT 자료를 제공받았으며 이는 2017년 진행된 <법의인류학 감정 표준화를 위한 한국인 3차원 뼈대자료 구축> 과제를 통해 가톨릭대학교 응용 해부연구소와 국립과학수사연구원에서 수집한 전신 CT 영상자료이다. 추가적으로 가톨릭대학교 가톨릭응용해부연구소에서 관리하고 있는 디지털 코리언 데이터베이스에서 총 83명(남성 36명, 여성 47명) 기증 시신의 CT 자료를 연구 재료로 이용하였다. 총 181명의 자료 중 수술, 소아, 기형 등의 케이스를 제외한 158명(남성 79명, 여성 79명)의 자료를 연구에 활용하였다.

연구 자료로 활용된 CT 영상들은 DICOM 확장자로 표현된 2차원 영상인데, Mimics (Mimics, Version 21, Materialise NV, Belgium) 프로그램을 통해 3차원으로 재구성하여 재구성된 영상에서 무릎뼈와 넓적다리뼈에 대한 모델링을 진행하였다. 국립과학수사연구원의 자료는 SOMATOM Definition AS+ (SIEMENS, Germany)를 통해 0.75 mm 두께로 촬영한 자료이며, 디지털 코리언 데이터베이스 자료는 Pronto (HITACHI, Japan)를 통해 1.0 mm 두께로 촬영한 자료이다.

무릎뼈의 경우 W. Peeters (2020) [16]이 제시한 계측점을 참고하여 총 8개의 계측점을 표지했다. 기준 평면을 기준으로 표지점을 위치시키고 계측하였다. 모두 왼쪽과 오른쪽을 각각 계측하였다.

1. 계측점

- 1) 무릎뼈의 윗점: Patella Superior (PS)
- 2) 무릎뼈의 아랫점: Patella Inferior (PI)
- 3) 무릎뼈의 안쪽점: Patella Medial (PM)
- 4) 무릎뼈의 가쪽점: Patella Lateral (PL)
- 5) 무릎뼈의 앞점: Patella Anterior (PA)
- 6) 무릎뼈의 뒷점: Patella Posterior (PP)
- 7) 무릎뼈능선의 윗점: Patella Ridge Superior (PRS)

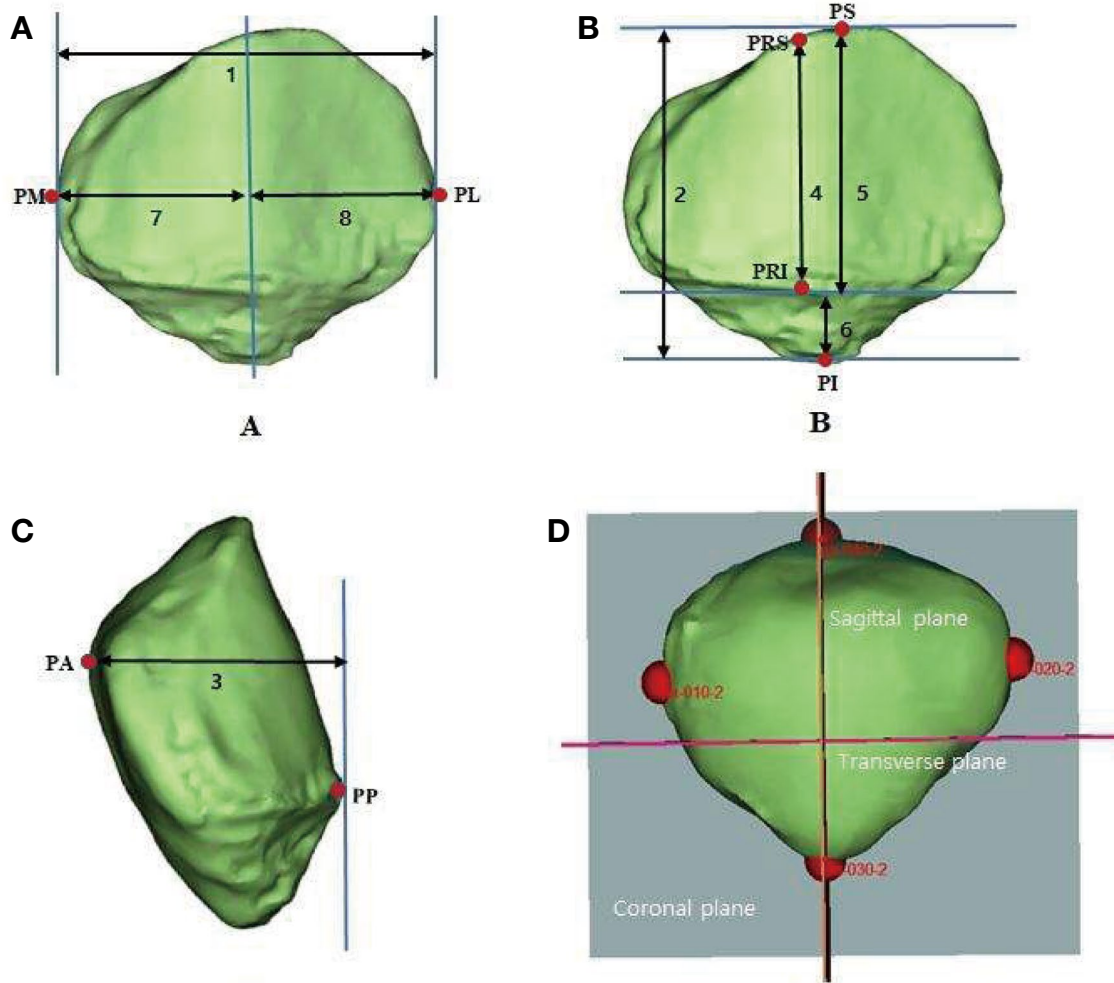


Fig. 1. Three-dimensional model of the patella. (A) Measurements related to the width of the patella. (B) Measurements related to the height of the patella. (C) Measurements related to the thickness of the patella. (D) Reference plane of the patella.

8) 무릎뼈능선의 아랫점: Patella Ridge Inferior (PRI)

무릎뼈의 형상이 불규칙하여 모든 무릎뼈들을 동일한 위치에 정렬한 상태로 계측하기 위해 위 표지점들을 이용해 시상(sagittal), 관상(coronal), 수평(transverse) 면으로 무릎뼈에 대해 기준이 될 수 있는 기준 평면을 생성하였다. 먼저 PM, PL, PI를 표지하여 관상면을 생성하였다. 다음으로 이에 수직하고 PS를 지나는 시상면을 생성하였다. 수평면은 PRI를 지나고 관상면과 시상면에 수직하게 생성한다.

2. 계측 항목

- 1) 무릎뼈최대너비(Patella width)
PM으로부터 PL을 지나는 시상면까지의 수직 거리
- 2) 무릎뼈최대높이(Patella height)
PS로부터 PI를 지나는 수평면 사이의 수직 거리

- 3) 무릎뼈최대두께(Patella thickness)
PA로부터 PP를 지나는 관상면 사이의 수직 거리
- 4) 관절면능선높이(Ridge height)
PRS로부터 PRI를 지나는 수평면 사이의 수직 거리
- 5) 무릎뼈윗점-무릎뼈능선아랫점높이(PS-PRI height)
PS로부터 PRI를 지나는 수평면 사이의 수직 거리
- 6) 먼쪽극높이(Distal pole height)
PRI로부터 PI를 지나는 수평면 사이의 수직 거리
- 7) 안쪽관절면최대너비(Medial facet width)
PM으로부터 PRI를 지나는 시상면까지의 수직거리
- 8) 기쪽관절면최대너비(Lateral facet width)
PL로부터 PRI를 지나는 시상면까지의 수직거리

3차원 모델링 이미지를 통해 얻은 계측값을 SPSS version 25.0 (SPSS InC., IBM, Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을

사용하여 분석하였다. 전체 표본의 20%에 대해서 시간을 두고 관찰자가 2번 측정하여 급내상관계수(Interclass correlation coefficient; ICC)를 통해 관찰자 내 오류를 확인하였다. 또한 동일한 표본에 대하여 두 명의 관찰자가 측정하여 관찰자 간 신뢰도를 검증하였다. 대응 표본 T 검증(Paired t-test), 독립 표본 T 검증(Independent t-test)을 통해 각 항목별 기술통계량을 알아보았다. 판별분석(Discriminant Analysis)을 통해 성별 판별 함수를 도출하였다. 무릎뼈와 성별에 대해 기술 통계로 성별 간 유의성을 확인하였고 판별분석으로 독립 변수별로 알아보는 단변량분석(Univariate analysis)과 가장 높은 분석 결과 수치를 갖는 방정식을 자동으로 선별하는 단계 선택법(Stepwise method)을 전체 항목에 적용하였다. 또한 무릎뼈의 크기를 대표하는 너비, 높이, 두께에 대한 측정치를 직접 투입하는 방식으로 판별분석을 수행했다.

결 과

관찰자 내 신뢰도(Intra-observer reliability)는 동일한 관찰자가 연구 표본의 20%를 2회 측정하였으며 모든 측정치가 0.9 이상으로 나왔다(Table 1). 최소값은 왼쪽 가쪽관절면 최대너비(0.93), 최대값은 오른쪽 무릎뼈최대너비(0.99)였다. 관찰자 간 신뢰도(Inter-observer reliability)는 동일한 표

Table 1. Interclass correlation coefficient (ICC) of inter-and intra-observer reliability in all measurements

Variables	Inter-observer		Intra-observer	
	ICC	p-value	ICC	p-value
Patella width L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Patella height L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Patella thickness L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Ridge height L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
PS-PRI height L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Distal pole height L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Medial facet width L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Lateral facet width L	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Patella width R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Patella height R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Patella thickness R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Ridge height R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
PS-PRI height R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Distal pole height R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Medial facet width R	1.0	<0.001	1.0	<0.001
Lateral facet width R	1.0	<0.001	1.0	<0.001

본을 두 명의 관찰자가 측정하였으며 모든 수치가 0.9 이상으로 나왔다. 최소값은 오른쪽 안쪽관절면최대너비(0.90), 최대값은 오른쪽 무릎뼈최대너비(1.00)였다.

기술통계를 통해 총 158명(남성 79명, 여성 79명)을 대상으로 측정한 24개 항목 중 전체 항목이 성별에 따라 유의한 차이가 있는 것을 확인했다(Table 2). 관절면능선높이, PS-PRI 높이, 먼쪽극높이, 안쪽관절면최대너비, 가쪽관절면최대너비와 같이 관절면에 해당하는 측정치들에서는 왼쪽과 오른쪽 간에 유의한 차이(p<0.05)를 보이는 것을 확인하였다(Table 3).

무릎뼈의 전체적인 크기를 구성하는 항목들(너비, 높이, 두

Table 2. Descriptive statics of patella by sex (The unit of length component: mm)

Variables	Male (N=79)		Female (N=79)		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Patella width L	47.0	3.1	42.0	3.1	<0.001
Patella height L	43.6	3.0	39.1	2.7	<0.001
Patella thickness L	23.8	1.9	21.8	1.7	<0.001
Ridge height L	25.8	3.1	23.9	2.4	<0.001
PS-PRI height L	28.3	2.9	26.2	2.4	<0.001
Distal pole height L	15.2	2.8	12.9	2.5	<0.001
Medial facet width L	19.5	2.1	17.2	2.1	<0.001
Lateral facet width L	27.5	2.5	24.8	2.1	<0.001
Patella width R	47.1	3.0	41.9	3.0	<0.001
Patella height R	43.3	3.3	39.2	2.7	<0.001
Patella thickness R	23.9	2.0	21.7	1.7	<0.001
Ridge height R	26.3	2.9	24.1	2.2	<0.001
PS-PRI height R	28.7	2.8	26.4	2.2	<0.001
Distal pole height R	14.6	2.9	12.8	2.4	<0.001
Medial facet width R	20.1	1.8	17.6	2.2	<0.001
Lateral facet width R	27.1	2.2	24.3	2.1	<0.001

Table 3. Paired sample t-test result of patella

Variables	Mean	SD	p-value
Patella width	0.0	1.3	0.99
Patella height	0.1	1.5	0.33
Patella thickness	0.0	1.0	0.81
Ridge height	-0.4	1.8	0.01
PS-PRI height	-0.3	1.9	0.04
Distal pole height	0.4	2.0	0.01
Medial facet width	-0.5	1.6	<0.001
Lateral facet width	0.5	1.8	<0.001

Table 4. Univariate discriminant function analysis using 3-dimensional images of patella

Variables	Standardized coefficient	Box-M test	Wilk's Lambda	Canonical correlation	Constant	Sectioning point	Accuracy (%)			
							Original			Cross-Validated
							Males	Females	Pooled	
Patella width L	1	0.9	0.6	0.3	-14.5	0.8	75.9	78.5	77.2	77.2
Patella height L	1	0.4	0.6	0.4	-14.7	0.8	74.7	79.7	77.2	77.2
Patella thickness L	1	0.4	0.8	0.6	-12.9	0.6	72.2	74.7	73.4	72.8
Ridge height L	1	0.0	0.9	0.4	-9.0	0.4	58.2	64.6	61.4	61.4
PS-PRI height L	1	0.1	0.9	0.4	-10.2	0.4	60.8	68.4	64.6	64.6
Distal pole height L	1	0.2	0.8	0.4	-5.3	0.4	65.8	65.8	65.8	65.8
Medial facet width L	1	1.0	0.8	0.5	-8.8	0.6	67.1	70.9	69.0	69.0
Lateral facet width L	1	0.2	0.7	0.4	-11.4	0.6	78.5	75.9	77.2	77.2
Patella width R	1	1.0	0.6	0.3	-14.9	0.9	78.5	79.7	79.1	79.1
Patella height R	1	0.0	0.7	0.3	-13.7	0.7	74.7	83.5	79.1	79.1
Patella thickness R	1	0.1	0.7	0.5	-12.2	0.6	67.1	73.4	70.3	70.3
Ridge height R	1	0.0	0.8	0.4	-9.9	0.4	64.6	68.4	66.5	66.5
PS-PRI height R	1	0.0	0.8	0.4	-10.9	0.5	63.3	65.8	64.6	64.6
Distal pole height R	1	0.1	0.9	0.4	-5.2	0.3	60.8	65.8	63.3	63.3
Medial facet width R	1	0.1	0.7	0.5	-9.3	0.6	72.2	73.4	72.8	72.8
Lateral facet width R	1	0.5	0.7	0.5	-12.0	0.7	74.7	70.9	72.8	72.2

Table 5. Stepwise, Direct function analysis using 3-dimensional images of patella

Functions	Standardized coefficient	Box-M test	Wilk's Lambda	Canonical correlation	Constant	Sectioning point	Accuracy (%)			
							Original			Cross-Validated
							Males	Females	Pooled	
1. Left Patella - Stepwise										
Patella width L	0.6	0.8	0.6	0.2	-15.8	0.9	75.9	81.0	78.5	78.5
Patella height L	0.5			0.2						
2. Right patella - Stepwise										
Patella width R	1.0	1.0	0.6	0.3	-14.9	0.9	78.5	79.7	79.1	79.1
3. Left Patella - Direct										
Patella width L	0.6	0.8	0.6	0.2	-16.3	0.9	75.9	81.0	78.5	78.5
Patella height L	0.4			0.2						
Patella thickness L	0.1			0.1						
4. Right Patella - Direct										
Patella width R	0.8	0.1	0.6	0.3	-15.9	0.9	77.2	81.0	79.1	79.1
Patella height R	0.2			0.1						

계)의 계측치는 쪽차이가 없었지만, 무릎뼈의 관절면을 구성하는 항목들의 경우 쪽차이가 있었기 때문에 왼쪽과 오른쪽 무릎뼈를 고유의 형태를 가진 뼈로 간주하여 각각 판별분석을 별도로 시행하였다.

8개 항목 모두에 대하여 각각 단변량 판별분석(Univariate

discriminant analysis)한 결과 무릎뼈최대높이와 무릎뼈최대너비가 왼쪽과 오른쪽에서 모두 가장 높은 정확도를 보였으며 오른쪽 무릎뼈의 정확도가 더 높은 경향을 보였다(Table 4). 무릎뼈의 형태를 결정하는 주요 요소 3가지(너비, 높이, 두께) 중에서는 너비와 높이가 높은 분류 정확도를 보였고

다음으로 두께였다. 이 3가지 계측치를 제외한 계측치 중에서는 안쪽/가쪽관절면최대너비의 분류결과값이 높은 정확도를 보였다.

24개 항목 모두에 대하여 단계적 판별분석(Stepwise discriminant analysis)을 적용한 결과 왼쪽은 너비와 높이가 포함된 식이 78.5%로 가장 높은 분류결과를 보였고, 오른쪽은 너비만 포함된 식이 79.1%로 가장 높은 분류결과를 보였다 (Table 5).

다음으로 무릎뼈의 형태를 구성하는 너비, 높이, 두께 3가지 변수를 사용해 직접 투입(Direct) 방식으로 판별분석한 결과, 왼쪽은 78.5%, 오른쪽은 79.1%의 분류결과를 보였다 (Table 5).

고 찰

본 연구에서는 무릎뼈 계측값을 활용하여 성별을 예측하는 방정식을 제시하였고, 단변량과 다변량 분석 결과에 따라 너비가 성별 구분에 가장 핵심적인 변수임을 확인할 수 있었다. 아울러 기존 연구들에서도 너비는 항상 높은 정확도를 가지고 단변량이나 다변량 판별분석 결과에 모두 포함되는 항목임을 확인할 수 있었기에[1,3,4,6,8,14,17-19], 무릎뼈에서 너비가 성별 판별의 중요한 변수라는 본 연구의 결과는 해외 연구자들의 연구 결과 경향과 일치하였다(Table 6).

다만 인구집단별 연구 결과를 볼 때, 거의 동일한 경향성을 보이는 인구집단도 있었지만 본 연구 결과와는 다소 다른 변수가 성별 판별에 도움이 되는 것으로 제시된 인구집단도 있었다. 일본, 터키, 이란, 스위스에서 진행된 연구의 경우, 무릎뼈의 최대 너비가 성별 판별에 대한 설명력이 좋은 항목으로 제시된 것을 확인할 수 있었고, 다변량 식에서도 최대너비와 최대높이 중심의 성별 판별이 유효하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 스페인, 아프리카계 미국인, 태국인을 대상으로 한 연구에서는 관절면, 능선 주변에 대한 항목들도 판별 정확도가 높은 항목으로 포함되어 있기 때문에, 인구집단 간에 있어서도 성별 간의 생김새에 차이가 있을 수 있는 것을 시사한다.

Nagarjuna (2021) [19]는 인도 남녀를 대상으로 무릎뼈를 측정하여 성별 판별을 진행하였는데, 특이하게 이 연구에서는 다른 연구에서 사용된 무릎뼈의 높이, 두께뿐만 아니라 관절 부분의 표면적 또한 계측에 사용하였다. 관절 부분의 표면적은 남성에서 97.94%, 여성에서는 98.35%로 매우 높은 판별 정확도를 보였다. 관절면의 표면적이라는 특정 영역에 대한 표면적을 이용한 성별 판별이 거의 완벽에 가까운 정도의 높은 정확도를 보인다는 것은 주목할 부분이다. 참고적으로 한국인의 경우 Lee (2015)의 연구[20]에 따르면 무릎뼈 전체

Table 6. Comparing the accuracy of patella sex determination in different populations

Authors (year)	Population	N (Male/Female)	Patella height	Patella width	Patella thickness	SAP (Surface area of the articular part)	Accuracy (%)	Stepwise analysis
This study (2025)	Korean	158 (79/79)	79.1	79.1	73.4		79.1 (Patella width)	
M. Akhlaghi et al. (2010)	Iranian	113 (57/56)	89.4	91.2	74.3			
Yasar Teke et al. (2018)	Turkish	220 (110/110)	84.5	86.5	79.0		89.0 (Patella height, Patella width)	
Rahmani et al. (2020)	Iranian	161 (79/82)	75.2	84.5	65.8		85.7 (Patella height, Patella width)	
Indra et al. (2021)	Swiss	234 (117/117)	82.5	81.2	62.8		85.5 (Patella height, Patella width)	
K. Sakaue (2008)	Japanese	283 (183/100)					85.0 (Patella height, Patella width)	
T. R. Peckmann et al. (2016)	Spanish	106 (55/51)					83.8 (Patella width, Medial facet width)	
T. R. Peckmann et al. (2018)	African American	200 (100/100)					84.5 (Patella thickness, Patella width, Ridge height)	
H. Chompoophuen et al. (2024)	Thai	254 (134/120)					85.2 (Patella height, Patella width, Lateral facet width, Medial facet width)	
K. Nagarjuna et al. (2021)	Indian	50 (25/25)	97.9	93.1	90.8	91.6		

부피에 의한 성별 판별 정확도는 78.4%, 전체 표면적에 대한 정확도는 75.7%여서 앞에 언급한 연구의 결과처럼 높은 성별 판별력을 보여주지는 않았다. 따라서 인구집단에 따른 차이인 것인지, 특정 영역에 있어서 성별 판별력이 높은 것인지에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

태국에서 진행된 Chompoophuen (2024)의 연구[6]에서 왼쪽과 오른쪽 무릎뼈를 각각 분석하였으며, 성별 판별 정확도는 왼쪽 83.2%, 오른쪽 85.5%로, 오른쪽 무릎뼈가 약 2% 정도 더 높은 정확도를 보였는데 이는 본 연구에서도 비슷한 경향성을 가졌다. 다만 왼쪽과 오른쪽 무릎뼈의 판별 정확도에 차이가 나타났지만, 그 차이가 매우 약소하며 기술 통계상으로는 유의한 쪽차이가 없었기 때문에 왼쪽과 오른쪽 모두 성별 판별에 사용하는 데 있어 큰 문제가 없을 것이라고 판단한다.

무릎뼈의 전체적인 형상 중 너비, 높이, 두께와 같은 지표에서는 유의한 쪽차이가 관찰되지 않았으나 안쪽관절면최대너비, 가쪽관절면최대너비, 관절면능선높이 등 관절면과 관련된 계측치들에서는 명확한 쪽차이가 나타났다. 이와 같이 무릎뼈의 관절면에 해당하는 항목들에서 쪽차이가 제시된 선행 논문들이 존재한다[21,22]. 선행 연구에 따르면 이러한 왼쪽과 오른쪽 관절면 너비 차이 등의 해부학적 변이를 고려하지 않으면, 인공 무릎뼈 수술을 진행할 때 삽입물의 부적절한 위치 선정, 관절면 압력 불균형, 무릎뼈 추적 이상(Mal-tracking of the patella), 전방 무릎 통증 등 합병증 위험이 커질 수 있으므로 이러한 비대칭성을 파악하는 것이 매우 중요하다[22]. 따라서, 본 연구에서 확인된 관절면 너비의 쪽차이는 해부학적 특성을 제시할 뿐 아니라, 향후 임상 및 생체공학적 응용에 있어 정밀한 수술 계획과 개인 맞춤형 무릎 임플란트 설계에서 중요한 요소로 작용한다는 점을 고려하여 이와 관련된 향후 연구가 필요할 것이다.

결과적으로 본 연구에서는 한국인 무릎뼈 3차원 이미지에 성별 판별을 진행하여 무릎뼈가 성별 판별에 유용한 지표가 될 수 있음을 확인할 수 있었으며, 최대 79.1%의 분류 정확도를 보이는 것을 확인했다. 이번 연구를 통해 한국인 무릎뼈를 활용하여 성별을 판별할 수 있는 판별 함수식을 제시하였고, 머리뼈나 골반뼈 등 성별 판별에 주로 쓰이는 뼈들이 소실되거나 손상되었을 때 무릎뼈를 사용할 수 있어 성별 추정에도 도움이 될 것이다.

해외 선행 연구들에 비해 판별 정확도가 다소 낮은 한계점이 있지만 향후 연구를 통해 성별뿐만 아니라 키, 연령대와 같은 개인 식별항목을 통합적으로 추정할 수 있도록 분석하면 무릎뼈가 사후 변성에 영향을 덜 받는다는 이점을 살려 법의인류학 현장에서 무릎뼈의 활용도를 향상시킬 수 있을 것이다

REFERENCES

1. Akhlaghi M, Sheikhzadi A, Naghsh A, Dorvashi G. Identification of sex in Iranian population using patella dimensions. *J Forensic Leg Med.* 2010;17:150-5.
2. Pickering RB, Bachman DS, editors. *The Use of Forensic Anthropology* 2009.
3. Peckmann TR, Fisher B. Sex estimation from the patella in an African American population. *J Forensic Leg Med.* 2018;54:1-7.
4. Yasar Teke H, Ünlütürk Ö, Günaydin E, Duran S, Özsoy S. Determining gender by taking measurements from magnetic resonance images of the patella. *J Forensic Leg Med.* 2018;58:87-92.
5. Introna F, editor. *Personal identification by analytical morphometry of an isolated patella.* Annual Meeting of American Academy of Forensic Sciences, New York 17-22 february 1997 Proceedings pag 162; 1997.
6. Chompoophuen H, Tipmala J, Duangto P, Mahaknkukrauh P. Sex determination from the patella in a Thai population. *Int J Morphol.* 2024;42:891-7.
7. Jakubik K, Jeżak M, Nowińska A, Grudzień M, Piech P, Karpieńska J, et al. Testing the validity of patellar measurements in sex estimation - a computed tomography study in a contemporary Polish population. *J Educ Health Sport.* 2023;20:156-68.
8. Indra L, Vach W, Desideri J, Besse M, Pichler SL. Testing the validity of population-specific sex estimation equations: an evaluation based on talus and patella measurements. *Sci Justice.* 2021;61:555-63.
9. Krishan K, Chatterjee PM, Kanchan T, Kaur S, Baryah N, Singh RK. A review of sex estimation techniques during examination of skeletal remains in forensic anthropology casework. *Forensic Sci Int.* 2016;261:165.e1-8.
10. İşcan MY. Forensic anthropology of sex and body size. *Forensic Sci Int.* 2005;147:107-12.
11. Krishan K. Anthropometry in forensic medicine and forensic science - 'Forensic Anthropometry'. *Internet J Forensic Sci.* 2007;2.
12. Loth SR, İşcan MY. *ANTHROPOLOGY | Sex Determination.* 2000. p. 252-60.
13. Dayal MR, Bidmos MA. Discriminating sex in South African blacks using patella dimensions. *J Forensic Sci.* 2005;50:1294-7.
14. Rahmani E, Mohammadi S, Babahajian A, Rahmani K, Yousefinejad V. Anthropometric characteristics of patella for sex estimation using magnetic resonance images. *Forensic Imaging.* 2020;23:200412.
15. Zhan MJ, Li CL, Fan F, Zhang K, Chen YJ, Deng ZH. Estimation of sex based on patella measurements in a contem-

- porary Chinese population using multidetector computed tomography: an automatic measurement method. *Leg Med (Tokyo)*. 2020;47:101778.
16. Peeters W, Van Haver A, Van den Wyngaert S, Verdonk P. A landmark-based 3D analysis reveals a narrower tibial plateau and patella in trochlear dysplastic knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28:2224-32.
 17. Sakaue K. New method for diagnosis of the sex and age-at-death of an adult human skeleton from the patella. *Bull Natl Mus Nat Sci, Ser D*. 2008;34:43-51.
 18. Peckmann TR, Meek S, Dilkie N, Rozendaal A. Determination of sex from the patella in a contemporary Spanish population. *J Forensic Leg Med*. 2016;44:84-91.
 19. Nagarjuna K, Mamatha K, Venkateswarlu B. Patellar anthropometry in sex differentiation - a study in the southern part of Andhra Pradesh, India. *Indian J Forensic Med Toxicol*. 2021; 15:3113-8.
 20. Lee UY, Kim IB, Kwak DS. Sex determination using discriminant analysis of upper and lower extremity bones: new approach using the volume and surface area of digital model. *Forensic Sci Int*. 2015;253:135.e1-4.
 21. Jan SS. Anatomic differences in patellar dimensions: a comparative study of left and right sides. *Indian J Clin Anat Physiol*. 2023;10:10-4.
 22. Kafa B, Ilgaz HB, Ülker M, Khan Efil S. Evaluation of patella anatomy for total knee arthroplasty approaches. *Cureus*. 2024;16:e59852.

간추림 : 사람뼈를 바탕으로 한 법의인류학적 개인 식별항목 추정은 일반적으로 대규모 재난, 전쟁, 고고학 발굴 현장 등 백골의 시신이 발견된 경우 진행된다. 이 과정은 신원 확인의 대상이 되는 범위를 좁히며, 신원을 확정 짓는 다른 요소들과 함께 최종판단을 하기 위한 근거를 제시한다. 성별 추정에 있어서 가장 일반적으로 사용되는 것은 머리뼈와 골반이지만 이러한 뼈들이 손상과 파편화 등으로 추정에 용이하지 않은 상태일 때 이들을 대체할 수 있는 다른 뼈에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 본 논문에서는 밀도가 강하여 사후 변성에 영향을 덜 받는다는 특성을 지닌 무릎뼈에 집중하였다. 한국인 시신 CT 자료 총 181명 중 수술, 소아, 기형을 제외한 158명(18~78세)의 무릎뼈를 Mimics를 이용해 3차원 영상으로 재구성하였다. 3차원 모델의 표지점을 정확하게 표지하기 위하여 시상면, 관상면, 수평면에 대한 기준 평면을 생성하였고, 이를 통해 표지점 8가지를 생성하였다. 표지점을 기준으로 무릎뼈의 사이즈에 대한 항목(Patella width, Patella height, Patella thickness)과 관절면에 관련된 항목(Articular surface height, PS-PRI height, Distal pole height, Medial facet height, Lateral facet height)을 계측하여 통계를 진행했다. 기술통계, 단변량 판별분석, 단계적 판별분석을 진행하고, 무릎뼈의 크기를 구성하는 3가지 항목(높이, 너비, 깊이)을 선택하여 직접 투입 판별분석하였다. 기술통계 결과 남녀 간 무릎뼈 계측치에 유의미한 차이가 있는 것을 확인했다. 단변량 판별분석 결과 높이(77.2%)와 너비(77.2%)가 가장 높은 분류결과를 가졌고, 단계적 판별분석에서 또한 높이와 너비로 이루어진 식이 선택되었으며 78.5%의 분류결과를 나타냈다. 마지막으로, 무릎뼈의 크기를 구성하는 높이, 너비, 깊이를 직접 투입 판별분석한 결과 78.5%의 분류결과를 보였다. 이러한 결과값들을 통해 무릎뼈를 활용한 한국인 대상의 성별 추정이 유의미한 의미를 가진다는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 법의인류학 현장에 도움이 될 것이라고 생각된다.

찾아보기 낱말 : 성별판별, 무릎뼈, 3D 모델링, 계측방식, 법의인류학