



UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE MEDICINA LEGAL, TOXICOLOGÍA Y
ANTROPOLOGÍA FÍSICA

TESIS DOCTORAL

**DETERMINACIÓN DEL SEXO MEDIANTE
UN ESTUDIO DE LA PELVIS Y EL FÉMUR
PROXIMAL A PARTIR DE RESTOS
ÓSEOS E IMÁGENES EN 3D**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOMEDICINA:
EVOLUCIÓN HUMANA. ANTROPOLOGÍA FÍSICA Y
FORENSE

Autora: Mirjana Djorojevic

Dirección: Prof^a Dra. Inmaculada Alemán Aguilera
Prof^a Dra. Concepción Roldán López de Hierro

Granada, 2018

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Mirjana Djorojevic
ISBN: 978-84-9163-941-1
URI: <http://hdl.handle.net/10481/52514>

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
TESIS DOCTORAL POR AGRUPACIÓN DE PUBLICACIONES	V
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN y OBJETIVOS	19
2.1. Objetivos generales	22
2.2. Objetivos específicos	23
3. MATERIAL y MÉTODOS	27
3.1. Base de datos de estudios TC	29
3.2. Adquisición de datos en modelos virtuales del coxal (1 ^{er} Artículo)	30
3.3. Reconstrucción de imágenes en 3D	30
3.4. Datos obtenidos de la epífisis proximal del fémur en hueso seco (2 ^o Artículo)	33
3.5. Adquisición de datos del modelo tridimensional de la epífisis proximal del fémur (3 ^{er} Artículo)	34
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	39
4.1. Tipo de variables	42
4.2. Selección de muestras	42
4.3. Análisis del error inter- e intraobservador	43
4.4. Paquete estadístico	48
4.5. Análisis de la simetría (lateralidad)	48

4.6. Análisis descriptivo	48
4.7. Comprobación de las hipótesis previas	49
4.8. Comparación de medias para verificar el dimorfismo sexual	50
4.9. Estimación paramétrica de las funciones discriminantes	50
4.10. Validación de las funciones discriminantes, valoración de la capacidad predictiva y probabilidades <i>a posteriori</i>	52
4.11. Utilización de las funciones discriminantes y validación en hueso seco	53
5. RESULTADOS	55
5.1. Indicios de calidad de las revistas en las que han sido publicados los artículos	57
5.2. Artículo 1 (versión aceptada)	59
5.3. Resumen	60
5.4. Licencia de la editorial Springer para el uso del artículo para propósitos académicos	61
5.5. Artículo 2 (versión aceptada)	85
5.6. Resumen	87
5.7. Licencia de la editorial Springer para el uso del artículo para propósitos académicos	88
5.8. Indicios de calidad de la revista en la que ha sido publicado el 3 ^{er} Artículo	109
5.9. Artículo 3 (versión aceptada)	111
5.10. Resumen	113
5.11. Certificado de autorización de la revista (Military-Medical & Pharmaceutical Review) para el uso del artículo para propósitos académicos	114
5.12. Datos sobre los artículos publicados	137

6. CONCLUSIONES

139

7. BIBLIOGRAFÍA

147

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi profundo respeto y agradecimiento a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis doctoral y me han enriquecido inmensamente tanto a nivel personal como profesional, brindándome todo el apoyo y la amistad, su colaboración, ánimo y sobre todo cariño. Les agradezco de todo corazón a:

Amalia Morales, Ariagna Guaimacuto, Alberto Yoldi,

Beatriz Guijarro,

Carmen García, Claudia Sanna,

Chema Cabrera,

Elisa Cabrerizo,

Fernando Navarro, Familias Ruiz Caballero y Quesada Roldán,

Gorica Majstorović, Gretel González,

Inma Alemán, Inma Roldán,

José Ángel Ruiz, Javier Irurita, José María Sevilla (SESCAM), José Antonio Muñoz (EMUCESA), Juan Pablo Diéguez, Joan Viciano,

Kika Roldán,

Laura Castillo,

Miguel Botella, Margarita Alcázar, Maribel Martín (EMUCESA), Miguel García, Marcela Arellano,

Patricia García,

Rosa Maroto, Rocío Valderrama, Rafael Fernández,

Sylvia Jiménez, Sonja Andrić, Stefano de Luca, Santos Bolado, Sandra López y

Zita Laffranchi

*A mi Familia,
se lo debo todo*

TESIS DOCTORAL POR AGRUPACIÓN DE PUBLICACIONES

Esta tesis doctoral se ha elaborado como un compendio de artículos de investigación, los cuales, tal como se recoge en la Normativa de la Escuela de Doctorado de Ciencias de la Salud de la Universidad de Granada, *deben ser previamente publicados o aceptados para su publicación, en un medio incluido en el JCR Science Citation Index. Por lo menos uno de ellos deberá estar situado en el primer tercil de su área temática.*

Los resultados obtenidos en nuestros estudios independientes que guardan la unidad temática han dado lugar a la redacción y posteriormente publicación de tres artículos científicos que cumplen los requisitos establecidos por la Normativa vigente.

RESUMEN

La identificación positiva del sexo y de la edad de un individuo a partir de los restos óseos, con el fin de crear su perfil biológico o generar una osteobiografía, es uno de los principales retos en Antropología Forense. Varias técnicas se han desarrollado para tales propósitos. En un principio, éstas se basan en la observación visual (macroscópica o microscópica) y morfométrica del hueso. El método de recopilar y analizar caracteres morfométricos lineales ha ido recibiendo cada vez más atención durante los últimos veinte años por ser más fácil de aplicar, menos subjetivo y más coherente a la hora de obtener datos sobre variables que se pueden someter al análisis continuo, a través de procedimientos estadísticos de gran alcance.

Debido a su alto dimorfismo sexual marcado principalmente por la función de maternidad, la pelvis ha sido reconocida durante mucho tiempo como la región más fiable respecto a la información que puede proporcionar sobre el sexo de individuos adultos y por ende más utilizada con propósitos de identificación.

Sin embargo, a menudo se recupera incompleta o en deficiente estado de conservación para proporcionar un conjunto de datos relevante para la estimación del sexo. En estas circunstancias, los antropólogos forenses acuden a otros elementos poscraneales, preferiblemente los huesos largos. La literatura científica ha ido reconociendo durante mucho tiempo el fémur como el hueso más dimórfico entre los huesos largos. Además, debido a su robustez y densidad, es el área anatómica menos susceptible a daños y mejor conservada que otros huesos largos.

Los grados de dimorfismo sexual suelen variar geográficamente, incluso dentro de una misma población, de modo que los investigadores están continuamente reevaluando los métodos ya existentes y desarrollando técnicas más eficientes y objetivas para optimizar los resultados de la identificación de restos óseos humanos, ya que están destinados a su utilización en fines judiciales.

Desde su introducción clínica en 1971, la Tomografía Computarizada (TC) ha experimentado sucesivos avances diagnóstico-médicos y en la última década,

el campo de su aplicación se ha ido extendiendo en distintas áreas de ciencia como es la Antropología Forense. Una variedad de publicaciones que han aparecido en la última década han avalado la objetividad y fiabilidad de las mediciones realizadas en las imágenes radiológicas obtenidas en TAC del cráneo, húmero, esternón o los huesos del pie.

La realización de esta tesis doctoral se ha planteado a raíz de la adquisición de una copiosa base de datos de exploraciones por TAC, cedida por los Servicios de Salud de Castilla-la Mancha (SESCAM) al Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada. El objetivo principal que justifica su elaboración ha sido continuar desarrollando en el Laboratorio de Antropología Física la línea de investigación establecida para la identificación humana a partir de imágenes médicas y crear una nueva metodología forense aplicable para la investigación de población mediterránea.

Se ha optado por examinar algunos aspectos del coxal y la epífisis proximal del fémur, dada su comprobada relevancia en el diagnóstico del sexo sobre huesos esqueléticos. Los resultados obtenidos en tres estudios independientes que guardan la unidad temática han sido publicados en las revistas de divulgación científica relativas al campo.

A continuación se resumen los principales objetivos planteados y resultados obtenidos en cada uno de ellos:

Djorojevic M, Roldán C, García-Parra P, Alemán I, Botella M (2014) **Morphometric sex estimation from 3D computed tomography os coxae model and its validation in skeletal remains.** Int J Legal Med 128(5): 879–888. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1033-x>. Impact factor 2.86. Ranked 2 out of 15 (Q1).

En este estudio se utilizaron modelos tridimensionales del coxal, reconstruidos a partir de TAC de pacientes clínicos, para evaluar la utilidad de la morfometría tradicional en la adquisición de datos a partir del hueso virtual, y comprobar si la tomografía computarizada como herramienta puede proporcionar

certeza y exactitud en este sentido. En el análisis estadístico se desarrollaron funciones discriminantes que mostraron un alto porcentaje de individuos correctamente clasificados. La validación de los modelos obtenidos en vivo sobre una muestra de huesos secos del coxal ha dado resultados positivos, y de ahí la posibilidad de utilizarlos para la estimación del sexo en los restos óseos. Se puede concluir también que los estándares derivados de dos fuentes de datos distintas se pueden utilizar alternativamente según lo determinen las características del ámbito forense.

Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I (2015) **Estimation of Purkait's triangle method and alternative models for sex assessment from the proximal femur in the Spanish population.** *Int J Legal Med* 130(1):245–251. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1201-7>. Impact factor 2.862. Ranked 2 out of 15 (Q1).

Se ha evaluado la reproducibilidad del método de triángulo de Purkait en una muestra de fémures esqueléticos perteneciente a la colección osteológica moderna utilizada en el primer estudio. De no haberse mostrado satisfactoria, se ha planteado estudiar dos dimensiones nuevas e independientes (el diámetro máximo de la cabeza femoral y el diámetro supero-inferior del cuello del fémur), que han presentado un grado de dimorfismo sexual mucho mayor que cualquiera de las dimensiones que contempla el método de triángulo, consideradas tanto independientemente como en su conjunto. Además, las dos nuevas fórmulas desarrolladas pueden ser eficaces en estimar el sexo a partir del fémur fragmentado.

Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I (2018) **Sex assessment from the proximal femur in a Spanish population based on three-dimensional computed tomography metric analysis.**

<https://doi.org/10.2298/VSP170920031D>. Impact factor 0.367. Ranked 139 out of 155 (Q4).

En el tercer Artículo se han examinado seis dimensiones del extremo proximal del fémur. Los resultados han demostrado, igual que en el trabajo sobre el coxal, que con la osteometría tradicional utilizada para la adquisición de datos

en 3D, se pueden desarrollar fórmulas que alcanzar altos porcentajes de la asignación correcta del sexo. Una combinación de mediciones de la región anatómica estudiada también ha sido considerada en el análisis de funciones discriminantes para maximizar la precisión en el diagnóstico del sexo. Test de validez de las funciones elaboradas de datos obtenidos de imágenes clínicas en la muestra de fémures secos, ha mostrado la reproducibilidad de dos de las tres fórmulas consideradas. Este trabajo también ha confirmado que las mediciones obtenidas a partir de TAC pueden considerarse precisas y fiables; que los patrones obtenidos en sujetos vivos pueden ser utilizados para determinar el sexo en restos óseos, además de servir como una opción práctica para la validación de los parámetros ya establecidos para la estimación del sexo y otras técnicas utilizadas en Antropología Forense.

Los resultados presentados en estas tres publicaciones reflejan el potencial y la importancia de una base de datos de imágenes tomográficas para los estudios antropológicos, la propuesta de una metodología alternativa, eficaz y fácilmente reproducible para futuras investigaciones en contextos de Antropología Forense, además del diseño de patrones específicos para la población española, que también pueden tener validez aplicados a poblaciones de características similares y en casos en que los restos óseos están aislados o fragmentados. Estos trabajos también demuestran que los estándares actuales de determinación del sexo deben actualizarse para incluir más datos obtenidos en vivo, con el fin de aumentar la precisión de la identificación.

INTRODUCCIÓN

El rápido avance en las técnicas de diagnóstico por imagen ha otorgado un lugar privilegiado a la tomografía computarizada (TC) puesto que abre un gran abanico de aplicaciones sumamente útiles en la práctica clínica (patologías y lesiones, endoscopia, evaluaciones preoperatorias o controles postoperatorios, entre otras). Este desarrollo ha impulsado su uso no sólo en medicina forense sino también en otras disciplinas relacionadas, como la Antropología Forense.

La tomografía computarizada es una técnica radiológica que representa las estructuras anatómicas del cuerpo humano en imágenes radiológicas. Cada una de ellas se reconstruye con la información digital obtenida de una sección anatómica de espesor variable. A diferencia de la radiografía convencional, que no siempre proporciona la precisión suficiente para un diagnóstico definitivo, especialmente en regiones complejas, la TC muestra el área del examen sin superposición de estructuras. La alta resolución espacial permite visualizar con nitidez y claridad la estructura de todos los tejidos. Por eso, uno de los parámetros físicos más importantes de TC, en comparación con otras modalidades de estudios por imágenes, es el grosor de corte (*slice thickness*). Éste depende del tamaño de la estructura anatómica sobre el que se va a realizar una exploración de TC. El estándar oscila entre 5 mm y 8 mm, mientras que espesor de corte muy fino varía entre 0.5 mm y 2 mm (Del Cura y Oleaga, 2005). Con la velocidad de procesamiento y su capacidad de capturar detalles con alta resolución de áreas examinadas, sin la necesidad de sustraer tejidos blandos, la CT se convierte en una herramienta ideal para ahorrar tiempo y proteger los restos de la manipulación física.

En el ámbito forense, la TC se utilizó por primera vez en 2002 en el Instituto de Medicina de la Universidad de Berna (Suiza) como método alternativo no invasivo a la autopsia convencional - virtopsia y, a partir de entonces, ya se ha ido convirtiendo en varios países en un procedimiento estándar de autopsia (Thali *et al.*, 2003; Dedouit *et al.*, 2007), demostrando que la causa y la manera de la muerte son diagnosticables mediante TC, incluso en casos de descomposición avanzada o destrucción severa del cuerpo por la acción del fuego. Esto se debe a la posibilidad de visualizar regiones anatómicas, fracturas y órganos internos que son difícilmente visibles en un examen convencional.

En el marco de la investigación *post mortem*, la TC también se ha utilizado como herramienta en la reconstrucción facial, mediante la superposición de imágenes del cráneo y la fotografía 2D, con el fin de establecer la coincidencia entre los puntos craneoscópicos y sus correspondientes somatoscópicos, para identificar de esta manera un individuo desconocido (Campomanes-Álvarez *et al.*, 2014; Damas *et al.*, 2011).

En la última década, el uso de la TC se ha intensificado especialmente en la identificación de las víctimas de los desastres masivos (Sidler *et al.*, 2007; Brough *et al.*, 2015). En tales circunstancias, cuando el factor tiempo es crucial y no es posible llevar a cabo el laborioso y extenso procesamiento de los restos recuperados (maceración), debido al elevado número de víctimas o las creencias religiosas que no aprueban una autopsia convencional, la TC puede ser una opción muy útil desde un punto de vista forense y preferible respecto a la radiografía normal, puesto que proporciona una mejor resolución de las imágenes, más detallada inspección de huesos y tejidos blandos y el tiempo mucho más reducido para el procesamiento de un cuerpo completo. Por otro lado, las imágenes de TC no presentan distorsiones inherentes significativas en comparación con las generadas por rayos X simples. Además, el intercambio interactivo de información obtenida a través de la TC puede realizarse a distancia, a través de plataformas de Internet protegidas (*teleforensics*), sin necesidad de asumir la cadena de custodia de datos y el desplazamiento de forenses pertenecientes a los países de origen de las víctimas al lugar del desastre (Stull *et al.*, 2014).

Es ampliamente aceptado que la estimación del perfil biológico a partir del esqueleto humano es más precisa cuando se aplican estándares específicos, porque los resultados varían significativamente según las tendencias seculares y el origen geográfico, de modo que justifican la actualización de los métodos ya existentes. Además, los huesos fragmentados o aislados debido a alteraciones óseas *peri-* o *post mortem* pueden requerir el uso de otras técnicas para determinar el sexo. (Du Jardin *et al.*, 2009). Con la escasez de información procedente de colecciones esqueléticas documentadas para las poblaciones contemporáneas, los antropólogos forenses acuden a la fuente alternativa de

datos, originada a raíz de la integración cotidiana de nuevas tecnologías de imagen como es tomografía computarizada en prácticas clínicas, para generar estándares fiables para la estimación del sexo sobre huesos completos, fragmentados o aislados.

La creciente apreciación de la importancia de patrones poblacionales específicos se refleja en un flujo de publicaciones que utilizan TAC y osteometría tradicional para estimar el sexo a partir de una variedad de huesos, como son el cráneo (Ramsthaler *et al.*, 2010), el hueso petroso del temporal (Abd-elhakim *et al.*, 2012), el *foramen magnum* (Uysal *et al.*, 2005), astrágalo y radio (Ruiz Mediavilla *et al.*, 2012), el húmero, clavícula y esternón (García-Parra *et al.*, 2014), la rótula (Mahfouz *et al.*, 2007), etc. Los autores de estos trabajos aprueban la idoneidad de representaciones superficiales y volumétricas 3D (*surface and volume rendering*) de un elemento óseo reconstruido a partir de imágenes 2D de cortes transversales para la cuantificación objetiva de los datos osteológicos, recalando que los métodos osteométricos tradicionales proporcionan mediciones objetivas y fiables incluso en conjuntos de datos recopilados *in vivo* en imágenes clínicas. Esto corrobora los resultados obtenidos en la clasificación correcta de los sexos, a saber: 96% para el cráneo; 73.3%-90.7% para el *foramen magnum*; 97% para el sexo femenino corresponden al hueso petroso del temporal; 90.9%-93.9% al astrágalo y radio, 94.77% a la clavícula, 96.72% al húmero, 89.1% al esternón y 93.51% a la rótula.

Durante los últimos 20 años, se han publicado numerosos trabajos dedicados a exploraciones de muestras esqueletizadas, confirmando que la pelvis presenta un elevado dimorfismo, tanto en su totalidad como en sus segmentos, en una variedad de poblaciones. Con la morfometría clásica y el análisis de funciones discriminantes (DFA), se han alcanzado altos porcentajes de fiabilidad en la asignación correcta de individuos: para griegos modernos y sudafricanos blancos y negros entre 94.5% y 94.8% (Steyn e İşcan, 2008; Steyn y Patriquin 2009); para españoles 95.71 % (Yoldi y Botella, 1999; Yoldi *et al.*, 2001); para afroamericanos, caucásiscos y mexicanos el rango se sitúa entre el 98.5% y 99% (Albanese, 2003; Gómez-Valdés *et al.*, 2011), etc.

Esta es la razón por la cual tampoco han faltado los estudios de la pelvis en el diagnóstico del sexo a partir de las imágenes obtenidas por medio de TC. En la elección de esta técnica, los investigadores han contado con las imágenes tridimensionales que proporcionan un alto nivel de detalle de la superficie del hueso virtual, muy importante para un análisis riguroso y objetivo de su morfología y de los datos osteométricos registrados. Hay antropólogos forenses que se centran en el conjunto óseo de la pelvis, como Decker *et al.*, (2011). Ellos, tras comparar técnicas antropométricas y macroscópicas de varios aspectos de esta región en los modelos 3D, concluyen que la combinación de cuatro variables puede llevar a obtener la fiabilidad determinativa sobre el sexo hasta 100% pero, reconocen que la *conditio sine qua non*, a la vez que la limitación para llegar a tales resultados, es el examen de una pelvis completa e intacta.

Por otro lado, Franklin *et al.*, (2014), utilizan imágenes 3D obtenidas por medio de TAC clínico para examinar dimorfismo sexual en la pelvis, con el fin de elaborar una serie de patrones morfométricos de una población australiana. El análisis de la precisión de doce dimensiones y dos ángulos muestra que el ángulo subpúbico contribuye de manera más significativa a la determinación del sexo (100%), mientras que la mejor variable independiente en este sentido es la longitud isquiática (81.2%). Hay también investigadores que se centran en el coxal, como Djorojevic *et al.*, (2014), y obtienen para nueve variables estudiadas un alto grado de fiabilidad en la predicción del sexo (89.3%–94.7 %). Hay los que analizan distintas secciones de la pelvis: Biwasaka *et al.*, (2009), por ejemplo, estiman el sexo por medio de la observación de la escotadura ciática en las imágenes TAC de alta resolución, con una precisión media del 89.4%, destacando las escasas diferencias métricas existentes entre las mediciones realizadas sobre el hueso original y sobre la imagen en 3D tras la realización del TAC del mismo hueso (Robinson *et al.*, 2008). Es más, las mediciones llevadas a cabo en las imágenes por TAC de sujetos vivos también se han mostrado equiparables a las técnicas antropométricas clásicas aplicadas en mediciones directas sobre hueso seco (García-Parra *et al.*, 2014, Djorojevic *et al.*, 2014 y 2018).

Por medio del análisis de imágenes médicas de la sínfisis y el cuerpo del pubis, López Alcázar *et al.*, (2013) pretenden demostrar la relación entre la

ultraestructura del tejido óseo y el sexo. Los modelos obtenidos presentan el rango de fiabilidad para la determinación del sexo entre 87.4% y 95.8%.

Sin embargo, la pelvis a menudo se recupera incompleta o en mal estado de conservación, lo que es insuficiente para proporcionar un conjunto de datos relevante para la estimación del sexo. Aun así, la evaluación de la idoneidad de tales restos óseos, como la única fuente de datos disponibles para el diagnóstico del sexo, es una tarea que los antropólogos forenses afrontan con frecuencia. Es entonces cuando acuden a otros elementos poscraneales, preferiblemente los huesos largos (Mostafa *et al.*, 2012; Steyn e İşcan, 1997).

Debido a su robustez y densidad, el fémur es el área anatómica menos susceptible al daño y mejor preservada que otros huesos largos. Cuando el cuerpo o el extremo distal del fémur no están disponibles, la epífisis proximal puede ser muy útil para la determinación del sexo. Al tratarse de un área importante de inserción de los músculos y de la transmisión del peso en la parte superior del cuerpo, el fémur se ve afectado indudablemente en términos de tamaño y forma, hecho que también repercute sobre su potencial dimórfico (Purkait, 2004; Seeman y Delmas, 2006).

La revisión de la literatura ha demostrado que el tercio proximal del fémur ha sido ampliamente examinado para verificar su eficacia en la estimación del sexo. Para este propósito y utilizando el método basado en el triángulo ubicado en la parte posterior del fémur proximal, Purkait (2005), obtiene el 87.5% de precisión en la clasificación correcta para la población de la India Central. Al testar el método en una muestra de la población norteamericana, Brown *et al.*, (2007) consiguen un resultado parecido al modelo original (86.5%), mientras que reexámenes de la técnica, llevados a cabo para la población española (Djorojevic *et al.*, 2015) y griega (Anastopoulou *et al.*, 2014), no han dado porcentajes de acierto semejantes (81.7% vs. 74.04%).

Albanese *et al.*, (2008) han propuesto un triángulo alternativo, identificado también en la cara posterior del extremo proximal, para estimar el sexo a partir del tamaño y el ángulo del cuello femoral. Según los autores, el método proporciona un porcentaje muy alto de la asignación del sexo (95%); no es específico de una

población; presenta mayor eficacia si se utiliza para una muestra independiente y es aplicable a diversos contextos arqueológicos y forenses.

Sin embargo, en los trabajos sobre la epífisis proximal del fémur, la mayoría de los investigadores se centra en diferentes aspectos de esta región anatómica. Entre las dimensiones individuales estudiadas en una variedad de poblaciones, los autores coinciden en que hay dos que asignan el sexo con un porcentaje más elevado que las otras. Para el diámetro vertical del cuello femoral, los resultados de Seidemann y Stojanowski, 1999; Frutos, 2003; Alunni-Perret *et al.*, 2003 y Djorojevic *et al.*, 2015, se sitúan entre el 89.4% y 91.9%-. Por otro lado, en el diámetro vertical de la cabeza de fémur, Alemán, *et al.*, (1997); Trancho *et al.*, (1997); King *et al.*, (1998); Alunni-Perret *et al.*, (2003); Purkait y Heeresh (2004) y Djorojevic *et al.*, (2015), registran un grado de dimorfismo sexual aún más marcado (89.8%-92.7%). (Véase también Artículo 3, Tabla 5). En todos los estudios mencionados, los datos métricos se han recopilado en muestras del hueso seco de colecciones modernas, utilizando osteometría tradicional y análisis estadístico de funciones discriminantes (AFD).

En lo que concierne al uso de técnicas de imagen diagnóstica como herramienta en la predicción del sexo a partir de varios aspectos del fémur proximal, la literatura informa principalmente sobre la exploración de la eficacia de las mediciones lineales llevadas a cabo en radiografías digitales de pacientes clínicos (Harma y Karakas, 2007; Mostafa *et al.*, 2012; Mitra *et al.*, 2014), y aquellas obtenidas con mediciones directas y, luego, sobre las imágenes digitales del mismo elemento para su comparación *a posteriori*.

Al examinar una muestra de población griega moderna, Kranioti *et al.*, (2009) concluyen que la técnica radiográfica arroja mejores resultados de los que muestran algunos estudios que utilizan la osteometría sobre hueso seco (Purkait, 2005; Asala, 2012), considerándola viable para determinadas circunstancias, cuando los métodos clásicos no es posible aplicar. La variable más dimórfica para los griegos, el diámetro vertical de la cabeza femoral, alcanzó el 85.7%. Aunque éste también fue la dimensión que mejor asigna el sexo de los turcos e iraníes, los resultados de las poblaciones respectivas no llegaron a superar el 78% (Harma y

Karakas, 2007; Mitra *et al.*, 2014), quedándose sustancialmente muy por debajo de lo que Mostafa *et al.*, (2012) consiguen en TAC de sujetos vivos de origen egipcio y español (93% - 100%). Todos estos trabajos se han realizado con el objetivo de validar la relevancia de algunos parámetros morfométricos en las investigaciones forenses, además de desarrollar patrones poblacionales específicos para el diagnóstico del sexo a partir de la epífisis proximal del fémur.

Sin embargo, son escasos los trabajos sobre las habilidades predictivas de la epífisis proximal del fémur mediante el uso de estudios diagnósticos por TAC y sus reconstrucciones en 3D, a saber: Clavero *et al.*, (2015) realizan unas mediciones lineales en imágenes clínicas 3D para estimar su precisión, repetibilidad y hacer comparación con las medidas tomadas sobre fotografías digitales de hueso seco o radiografías convencionales (2D). Para este propósito, estudian algunas dimensiones del extremo proximal del fémur e ilion, obteniendo la mejor fiabilidad en la estimación del sexo con el diámetro vertical de la cabeza (93%) y diámetro vertical del cuello femoral (90.4%).

Gulhan *et al.*, (2015) analizan también la muestra de imágenes 3D de TAC femoral de una población turca, para establecer la eficacia del extremo femoral en la predicción del sexo. Se ha demostrado que el diámetro vertical del cuello y el diámetro vertical de la cabeza del fémur son las variables más dimórficas que proporcionan una precisión entre 86% y 88%.

A pesar del indudable impacto que la tomografía computarizada ha tenido en la última década en las investigaciones forenses y, en concreto, en la estimación del sexo, todavía se echan en falta estudios cuantitativos continuos de distintas partes de la anatomía humana, a través de los cuales se evaluaría la relevancia del potencial de las bases de datos virtuales compuestas por estudios TAC para la creación de estándares específicos de la población contemporánea, además de la utilidad de la TC como una técnica alternativa y/o complementaria de los métodos convencionales en contextos antropológico y médico-legal.

JUSTIFICACIÓN y OBJETIVOS

De la importancia creciente y los resultados favorables que las técnicas de diagnóstico por imagen y, en particular, la tomografía computarizada (TC) han proporcionado en diversas especialidades médicas, en la última década, se han hecho eco varios contextos de investigaciones forenses, como el de Antropología Forense.

Además de exploraciones rápidas e inofensivas, manipulación fácil del hueso sin preparación previa o alteraciones, esta técnica también proporciona una visualización e inspección detallada de cualquier estructura anatómica y una recopilación de datos métricos más eficiente y más precisa mediante cortes secuenciales de alta definición, así como las adquisiciones volumétricas de imágenes en 3D. Numerosas investigaciones alrededor del mundo han valorado la TC no sólo como una herramienta potente para el diagnóstico del sexo, sino también como una de las principales técnicas para la identificación de las víctimas de desastres masivos (*virtopsia*), cuando es extremadamente complicado llevar a cabo correctamente las tareas forenses debido al factor “tiempo”, número de víctimas y diferentes estados de restos recuperados que no permiten aplicar procedimientos forenses tradicionales.

Debido a que los niveles de dimorfismo sexual varían geográficamente, incluso dentro de la misma población, los antropólogos forenses están continuamente reexaminando los métodos existentes y desarrollando los estándares nuevos, más eficientes y más objetivos, con la finalidad de optimizar la identificación positiva de los restos óseos. De ahí una continua puesta a prueba de la relevancia forense de la TC en la evaluación del sexo osteológico en distintas poblaciones.

La adquisición de una copiosa serie de imágenes obtenidas en los últimos años por TAC, procedente de los Servicios de Salud de Castilla-la Mancha (SESCAM), ha dado lugar a la apertura de una nueva línea de investigación en el Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada, cuya finalidad principal es evaluar si las imágenes médicas y mediciones tomadas en sujetos vivos de una población española pueden servir como fuente virtual y fiable de

datos poblacionales específicos, a partir de los cuales será posible elaborar estándares para la identificación humana en Antropología Forense.

De ser así, el conjunto de datos generados por TAC puede ser muy importante como una base de datos alternativa, complementaria, amplia y representativa de la población española porque:

- Se eliminaría la necesidad de obtener espacios grandes para almacenar las colecciones de restos óseos.
- Se ahorraría el tiempo que exigen las tareas laboriosas previas a su estudio.
- La base de datos virtuales se mantendría siempre intacta y disponible las veces que los investigadores la reclamen, y
- Proporcionaría la construcción de nuevos estándares españoles para la identificación forense.

En este trabajo se ha optado por examinar el coxal y la epífisis proximal del fémur por dos razones principales. Por un lado, son regiones anatómicas de alto dimorfismo sexual y relevancia en la estimación del sexo, resaltados en prolífera literatura sobre el diagnóstico del sexo a partir de restos óseos. Por otro lado, la pormenorizada revisión bibliográfica, previa a la recopilación de datos, ha dejado constancia de escasos estudios sistematizados en sujetos vivos en el ámbito nacional que se planteen diagnosticar el sexo utilizando imágenes tomográficas, a la vez que la ausencia de aquéllos que testen la reproducibilidad de modelos obtenidos en 3D en una muestra de huesos secos para su posible aplicación alternativa, cuando los contextos forenses lo exijan.

2.1. Objetivos generales

Los objetivos generales planteados para este estudio han sido:

1. Comprobar mediante las mediciones en imágenes clínicas la utilidad y el grado de fiabilidad de la TC como herramienta en la estimación del sexo, en individuos adultos de la población española, con finalidad de apoyar y fortalecer, si procede, una de las principales líneas de investigación que se

llevan a cabo en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada y, por consiguiente, las futuras investigaciones en Antropología Forense.

2. Desarrollar, haciendo uso de la base de datos de TAC e imágenes en 3D, los patrones específicos de estimación de sexo para la población española.
3. Comprobar la reproducibilidad y el grado de fiabilidad de los modelos obtenidos en imágenes clínicas en una muestra contemporánea de huesos secos, de sexo y edad conocidos, de la misma población para su posible uso alternativo a tenor de las exigencias de contextos forenses.
4. Comparar los grados de precisión de los estándares obtenidos para la población española con los desarrollados con la misma metodología a partir de otras colecciones internacionales.
5. Comprobar la efectividad de las formulas obtenidas en las muestras de las poblaciones afines.

2.2. Objetivos específicos

1. Obtener en imágenes clínicas en 3D mediciones lineales de los modelos de la pelvis y la epífisis proximal del fémur de una población española del sexo y la edad conocidos.
2. Evaluar su utilidad para la estimación del sexo cuando los huesos de la pelvis o el fémur estén incompletos o fragmentados.
3. Comparar los resultados obtenidos de datos de pacientes clínicos con aquellos procedentes de estudios en hueso seco de la misma población, para estimar su compatibilidad y su potencial uso alternativo según las exigencias de los contextos forenses.

4. Estimar la reproducibilidad del método del triángulo de Purkait (2005) en una muestra de fémures esqueletados de la población española contemporánea.
5. Verificar el potencial de las dos variables distintas a las del triángulo que pertenecen a la misma región anatómica y proponer, si procede, una fórmula más simple y fácil de aplicar para el diagnóstico del sexo.
6. Comprobar la reproducibilidad de los dos nuevos modelos en una muestra de TAC de sujetos vivos.

MATERIAL y MÉTODOS

Para los fines de este estudio, se utilizó el material que pertenece a dos fuentes: una base de datos de imágenes tomográficas procedente del Servicio de Salud Castilla-La Mancha (SESCAM) y una colección osteológica documentada del cementerio San José de Granada. En una muestra seleccionada de la primera base de datos se han extraído medidas del coxal y la epífisis proximal del fémur. Los resultados de estos dos estudios han sido publicados en nuestro primer y tercer Artículo.

El conjunto de datos obtenidos de una muestra de fémures esqueletizados se utilizó con dos propósitos: por un lado, para validar la aplicabilidad del método de triángulo de Purkait (2005) en la estimación del sexo de la población española a la vez que proponer, si procede, los modelos más precisos y funcionales para la misma finalidad; por otro lado, se ha verificado la aplicabilidad de las fórmulas obtenidas en vivo en modelos virtuales en la muestra de huesos secos, tanto para el coxal (Artículo 1) como el fémur proximal (Artículo 2), con la idea de ir formando, a partir de una base de datos alternativa (virtual), los estándares específicos para la identificación de individuos desconocidos y/o huesos fragmentados.

3.1. Base de datos de estudios TC

Los TAC utilizados para el primero y el tercer trabajo se guardan en el Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada en la estación PACS (*Picture Archiving and Communication System*) en formato DICOM (es un protocolo estándar aceptado mundialmente para el almacenamiento, visualización, impresión e intercambio de imágenes médicas). En la actualidad, la base de datos, que se sigue ampliando periódicamente, dispone de unos 20.000 estudios. De conformidad con la legislación española (Artículo 16, Ley 41/2002; De Abajo *et al.*, 2008), que regula los derechos del paciente, los datos personales relativos a la salud fueron anonimizados antes de ser transferidos al PACS. Se facilitaron solamente aquéllos relativos al sexo, la edad y la fecha de realización de la prueba. Aunque no se dispone de la información específica sobre la etnicidad de los sujetos estudiados, la muestra se considera representativa para una población española contemporánea. Las pruebas codificadas en los protocolos del diagnóstico por tomografía computarizada (códigos SERAM), como TC abdomino-pélvica,

TC

toraco-abdominal, TC abdomen y TC pelvis, fueron seleccionadas para nuestra investigación.

3.2. Adquisición de datos en modelos virtuales del coxal (1^{er} Artículo)

La imagen obtenida tras un estudio de TC normalmente se obtiene en dos dimensiones. Esta imagen gráfica se denomina película de TAC. El post procesamiento de un conjunto de estas imágenes, con un mínimo de 64 cortes y un grosor de corte de entre 1 mm y 5 mm (resolución 512 x 512 píxeles), se realizó con el sistema operativo MAC OS X v. 10.7.2 y el software Osirix v.4.1 32. Por medio de OsiriX la información se procesa y visualiza de forma diferente a cómo se adquiere: habitualmente se hace una reconstrucción retrospectiva de los datos de adquisición (*raw data*).

3.3. Reconstrucción de imágenes en 3D

La tridimensionalidad une todos los cortes adquiridos formando una imagen volumétrica del tejido seleccionado (en este caso el hueso). La reconstrucción consiste en desplegar el volumen del hueso o una de sus estructuras en la pantalla del ordenador. En representación en volumen (*Volume Rendering*), se persigue la representación de múltiples estructuras con diferentes tipos de tejido y las regiones quedan perfectamente definidas en el espacio (x, y, z). Además, la reconstrucción volumétrica proporciona relaciones de continuidad entre los distintos planos de la imagen: frontal, lateral, posterior, superior y la observación de estructuras desde infinidad de ángulos. Nosotros optamos por este módulo debido a su mayor versatilidad y elegimos aquellas imágenes con una mejor resolución espacial, que permite identificar mejor los detalles del objeto y, por ende, proporcionar una mayor fiabilidad en las mediciones. A continuación, los modelos obtenidos se han ido explorando uno a uno para comprobar la calidad de las imágenes y delimitar la región del estudio. Una vez sustraído el tejido blando adyacente, se procedió a la toma de datos utilizando morfometría tradicional.

Para el estudio del coxal (1^{er} Artículo), se analizó un total de 150 TAC (75 mujeres y 75 hombres), con una edad comprendía entre 24 y 90 años. Los pacientes con antecedentes de traumatismos, prótesis de cadera o patologías no relacionadas con la edad fueron excluidos del estudio.

Guiados por las definiciones de las nueve medidas seleccionadas y previamente explicadas en la literatura (Genovés, 1959; Martín y Knußmann 1988; Schulter-Ellis *et al.*, 1985), dieciocho puntos osteométricos fueron ubicados de manera semiautomática en la superficie de modelos virtuales del coxal izquierdo y derecho. Para este propósito, se eligió el plano que mejor los visualizaba (anterior, posterior, anterolateral y posterolateral), respetando estrictamente la descripción de la ubicación de los puntos de referencia. Los datos de las distancias lineales, generadas instantáneamente por el software de procesamiento de imágenes, fueron guardados en una hoja de Excel para su posterior análisis estadístico¹.

Respecto a la toma de mediciones en hueso virtual, la longitud y la anchura de la sínfisis púbica resultaron muy difíciles de obtener con precisión en el modelo 3D (Steyn *et al.*, 2009). Según la tipología de Bookstein (1991), establecida en base a la cantidad de información necesaria para identificar o reubicar el punto correspondiente a una dimensión, las dos variables mencionadas pertenecen a Tipo III de puntos de referencia. Éstos están definidos como extremos de una curva y tienen al menos una coordenada deficiente (el punto se queda en el espacio, no yace en el hueso). De modo que su ubicación depende de la ubicación de uno u otros puntos más o semi-puntos de referencia (*landmarks* o *semilandmarks*). En consecuencia, la visualización del área estudiada puede verse afectada, por lo que se introduce un error de medición.

¹ Al determinar y colocar cada punto de la variable a medir, el programa proporcionó dos tipos de datos: los de las coordenadas espaciales de todos y cada uno de los puntos (X, Y, Z) tanto en píxeles como en centímetros y los datos de las distancias medidas, también en centímetros. El análisis estadístico ha demostrado que no existe la diferencia significativa entre los resultados que han dado las dos vías de adquisición. Puesto que la recopilación de datos por coordenadas es más laboriosa, lenta y requiere mucho más tiempo, se ha optado por la segunda modalidad.

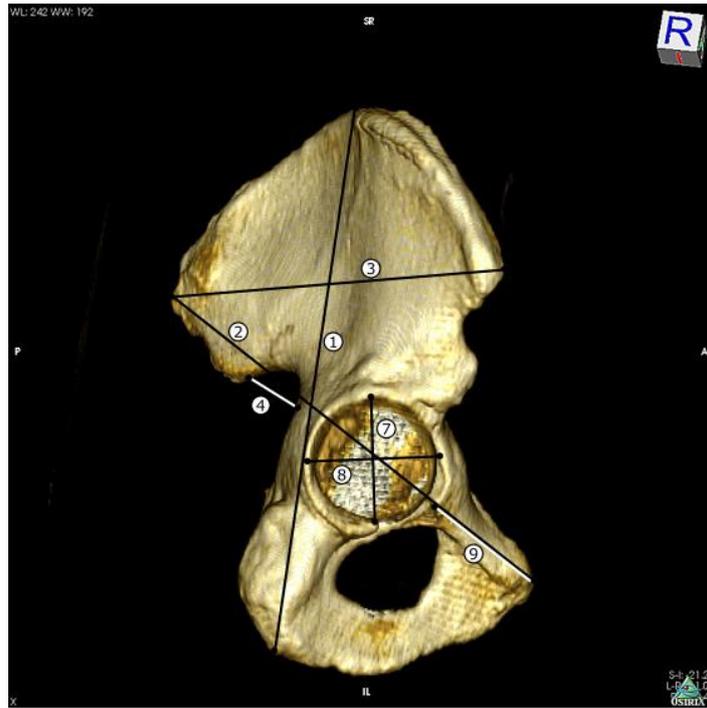


Fig. 1. Vista lateral del coxal derecho. La imagen 3D muestra siete de las nueve medidas con sus respectivos puntos de referencia. (1) Altura máxima del coxal, (2) Anchura máxima del coxal, (3) Anchura del ilion, (4) Anchura de la escotadura ciática mayor, (7) Diámetro vertical máximo acetabular (8) Diámetro horizontal máximo acetabular y (9) Longitud del pubis.



Fig. 2. Vista medial de la superficie de la pelvis. Modelo 3D muestra los puntos de referencia de la altura (6) y anchura de la sínfisis púbica (5), respectivamente

3.4. Datos obtenidos de la epífisis proximal del fémur en hueso seco (2º Artículo)

Esta muestra consiste en los restos óseos de 186 individuos documentados (109 mujeres y 77 hombres), con edades comprendidas entre 22 y 93 años, con un promedio de 67.1 ± 17.4 para las mujeres y 66.4 ± 11.1 para los hombres, que habían muerto entre 1920 y 1990. Pertenece a la colección osteológica San José, procedente del cementerio municipal de Granada, que empezó a formarse en 1991, cuando sus responsables cedieron al Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada aquéllos restos óseos destinados a su incineración o acumulación en la fosa común del cementerio para ser utilizados con fines de investigación antropológica (Alemán *et al.*, 2012). En la actualidad, la colección está formada por 542 esqueletos en muy buen estado de conservación: 312 individuos adultos y 230 subadultos. Se dispone de datos de la edad, el sexo, la ascendencia y la causa de la muerte. De esta colección se han medido las epífisis proximales del fémur.

Las cinco mediciones lineales se tomaron con un calibre digital (Mitutoyo, Japón; 0.01 mm), que se ajustaba entre cada medición. Se utilizó la osteometría tradicional, siguiendo, para el triángulo, las definiciones de las medidas facilitadas por Purkait, 2005. Para el diámetro vertical de la cabeza del fémur y el diámetro máximo del cuello femoral se utilizaron las definiciones de Bass (1987) y Alunni-Perret *et al.*, (2003), respectivamente.

En principio, la toma de medidas no presentó dificultades, excepto en la distancia intertrocantérica. Aunque se practicó una selección muy minuciosa de la muestra, en algunos casos se ha observado que los trocánteres, debido a que pertenecen a las zonas de las articulaciones, estaban afectados por la edad (ej. la osteoartritis o la artritis reumatoide). Los ápices se presentaban con un desgaste del hueso a consecuencia de la pérdida de cartílago, lo que hace que no exista un borde pronunciado del hueso que se pueda apreciar en la imagen. En estos casos se ha de buscar el punto de referencia más cercano al propuesto en la definición de la medida en cuestión.

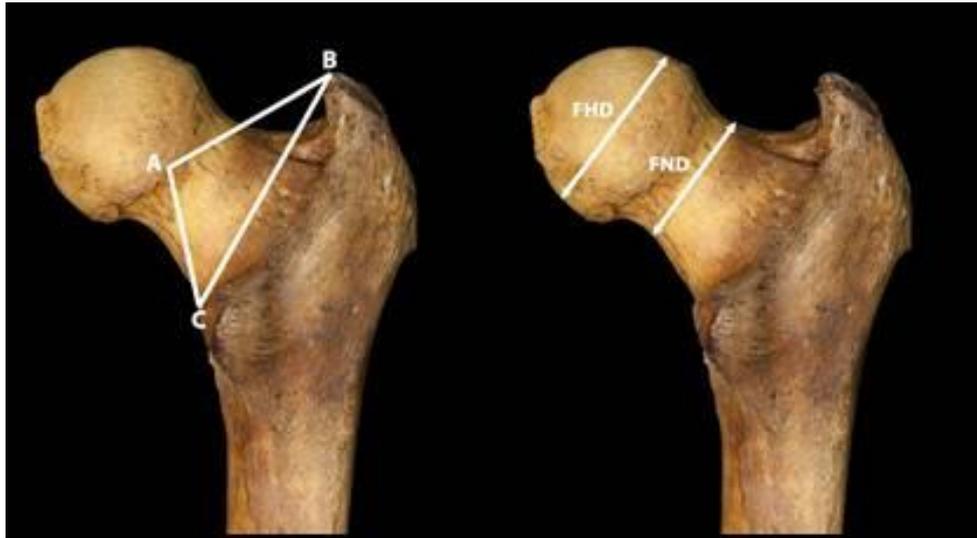


Fig. 4. Izquierda: El triángulo en el aspecto posterior del fémur proximal, definido por Purkait (2005). Derecha: Las dos dimensiones adicionalmente examinadas: el diámetro máximo de la cabeza del fémur (FHD) y el diámetro mínimo del cuello femoral (FND) en dirección superior inferior

3.5. Adquisición de datos del modelo tridimensional de la epífisis proximal del fémur (3^{er} Artículo)

Para este trabajo se seleccionó una muestra de 146 TAC de pacientes clínicos (73 hombres y 73 mujeres), con edades comprendidas entre 17 y 84 años, para estudiar seis dimensiones. El procedimiento de toma de medidas y análisis de datos fue igual que en el primer estudio.

En principio, las mediciones en hueso virtual no presentaron dificultades pero sí la delimitación de la muestra. En este sentido, es lícito recalcar que las exploraciones por TAC se realizaron preferentemente para diagnosticar patologías de tejido blando y no de huesos, de modo que el protocolo de actuación

(por ejemplo, grosor de corte) fue ajustado a tales necesidades y no a las de Antropología Forense. Esta fue la razón por la cual, a pesar de una enorme base de datos de estudios TAC, muchos tenían que ser descartados por incompletos, cortados o por carecer de una resolución aceptable. Tanto en las imágenes 2D como 3D se podían apreciar los últimos cortes atravesando la epífisis proximal del fémur, la sínfisis púbica o la parte inferior del isquion lo que significa que estas regiones no han sido el objetivo de la prueba.

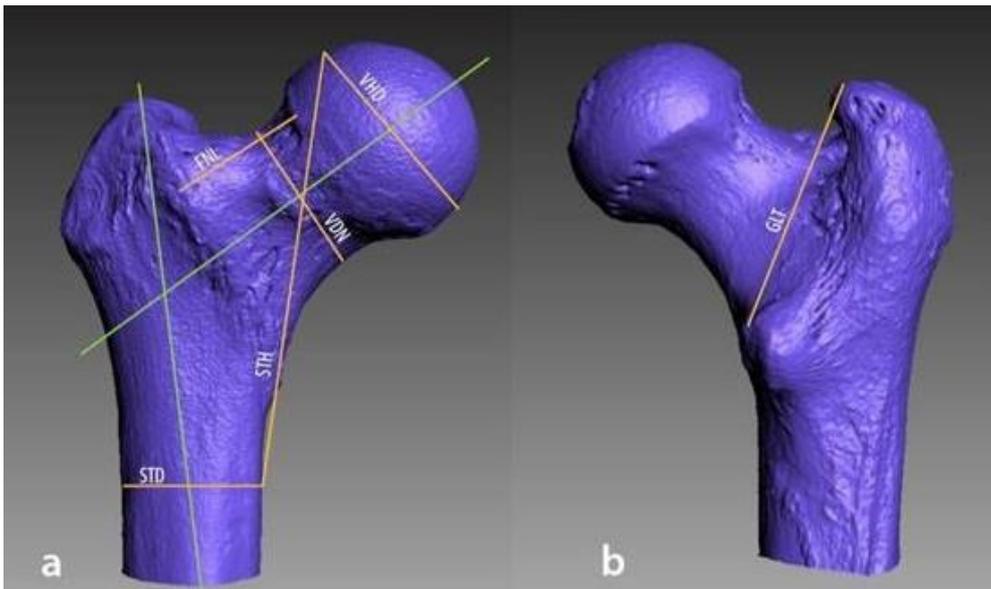


Fig. 5. Dimensiones anatómicas medidas en: a) vista anterior y b) vista posterior de un modelo tridimensional de la epífisis proximal del fémur derecho

Por otro lado, las imágenes de baja resolución tienen que ver con el grosor de corte, de modo que reconstruidas en 3D no pueden proporcionar unas mediciones exactas del hueso. Por ejemplo, para la serie codificada TC abdomen estándar, imprescindible para nuestro trabajo, está estandarizado realizar cortes de 5 mm. Si se precisa un estudio específico de la pelvis, por ejemplo, ante la sospecha de lesión acetabular, se puede realizar con cortes más finos de entre 1 mm y 2.5 mm. Para esta región el estudio comienza a la altura de las bases pulmonares y termina en la sínfisis del pubis (del Cura Rodríguez y Oleaga Zufiría, 2005). De modo que en los comienzos de la aplicación de TAC en estudios antropológicos, el uso de los cortes de 5 mm fue aceptado, mientras que en la actualidad la recomendación es que el espesor de corte no debería superar 1.25

mm porque se considera que se pueden producir errores más grandes en medición. Por esta razón, para el tercer trabajo tuvimos que reexaminar tanto la muestra seleccionada como la base de datos en su totalidad. La dificultad para seleccionar una muestra quizás más representativa también se debe al hecho de que la TC, a pesar de ser una técnica muy útil para el diagnóstico, no siempre se considera necesaria para el examen del hueso. En muchas ocasiones una resonancia magnética o una radiografía simple son suficientes para un diagnóstico acertado. Es por ello, que la TC se suele utilizar como segunda prueba cuando otra anterior no ha sido concluyente. Además de las razones previamente indicadas, la necesidad de repetir algunas mediciones puntuales sucesivas veces se debía, bien a una inadecuada orientación del modelo reconstruido bien a una insuficiente o demasiada eliminación de tejido blando con lo que se perdía la nitidez de la imagen y obstaculizaba la localización de puntos de referencia.

Para medir el diámetro vertical de la cabeza del fémur, fue imprescindible segmentar el área de la articulación con el hueso contiguo (acetábulo), para identificar con precisión los puntos de referencia que corresponden a la dimensión examinada. Se trata de un procedimiento semiautomático que proporciona el mismo software que hemos utilizado en el estudio del coxal. En la imagen 2D, con un pincel que aparece en el despliegue de la ventana de herramientas, se delimita la zona que no permite visualizar el hueso a medir y, a continuación se la elimina. Al activar el icono de reconstrucción en 3D aparece el hueso sin el área que le solapaba.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Uno de los métodos de mayor fiabilidad para la estimación del sexo es el empleo de la técnica multivariante conocida como análisis discriminante, una técnica que está especialmente recomendada sobre todo cuando sólo se dispone de huesos aislados o fragmentados (Kelley, 1979).

El análisis discriminante tiene como finalidad:

- 1) Analizar si existen diferencias significativas entre grupos de objetos respecto a un conjunto de variables que se han medido sobre los mismos para, en el caso de que existan, explicar en qué sentido se dan.
- 2) Elaborar procedimientos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en uno de los grupos analizados.

Las principales ventajas de este método son las siguientes: objetividad, es fácil de comprender y reproducir, reducción del error intra- e interobservador y una cantidad menor de casos indeterminados comparado con los métodos morfológicos. Entre sus inconvenientes destacamos la dificultad en aplicar estos métodos en restos muy fragmentados (Krogman e Iscan, 1986) y que los resultados sólo se pueden aplicar en poblaciones de un área o país determinado, porque su extrapolación a otra población podría dar lugar a resultados no válidos (Alemán, 1997).

Para predecir la pertenencia de un caso a una de las categorías de la variable dependiente, sobre la base de varias independientes (dos o más), se utiliza una ecuación de regresión llamada función discriminante. En nuestro caso la variable dependiente es el sexo y el objetivo es clasificar individuos utilizando para ello una o más variables discriminantes.

Esta técnica se utiliza ampliamente en muchos campos científicos, incluida la Antropología Forense, y se pueden encontrar numerosos libros y artículos sobre ese tema (véase, por ejemplo, Huberty, 1994, Tabachnick, 2007 y de la Fuente, 2011).

A continuación analizamos detenidamente cómo se aplicó esta metodología para la determinación del sexo.

4.1. Tipo de variables

En análisis discriminante, la variable dependiente es una variable nominal que establece los grupos mutuamente excluyentes que vamos a considerar. En nuestro caso, esta variable es el sexo, que establece dos grupos, hombres y mujeres. Respecto a las variables independientes, en cada parte del hueso analizado (fémur o coxal) se han realizado una serie de mediciones extremas que son las que posteriormente permiten discriminar el sexo probable de un individuo. Se trata de variables cuantitativas continuas, lo que implica el uso de métodos estadísticos adecuados a las mismas. En este análisis no debe considerarse un número excesivo de variables en cada función discriminante y, antes de obtener estas funciones, es habitual someterlas a un test para analizar la diferencia de medias.

4.2. Selección de muestras

En cuanto a la selección de muestras, para el análisis discriminante es conveniente aplicar muestreo estratificado proporcional cuando sea posible, considerando como estratos las categorías que establece la variable dependiente. En esta memoria, los estratos están determinados por el sexo y dentro de cada estrato los sujetos finales se han seleccionado aleatoriamente.

En cuanto al número de sujetos de cada estrato, algunos estudios (Bilfeld *et al.*, 2013; Franklin *et al.*, 2013) indican que debe de considerarse un mínimo de 5 observaciones por cada variable independiente que se incluya en el análisis, aunque lo recomendado es 20 observaciones por variable. Teniendo en cuenta esto, así como el tamaño de muestra utilizado en otros estudios de similares características (Hussain *et al.*, 2013; Weinberger *et al.*, 2004), los trabajos desarrollados han analizado igual número de hombres que de mujeres. En concreto, cada grupo ha constado de unos 70 y 80 sujetos de cada sexo y que han sido elegidos aleatoriamente a partir de la base de datos de imágenes computarizadas. La muestra final de sujetos se obtuvo de forma que aquellos con antecedentes de patología o cirugía fueron excluidos del estudio.

Una segunda muestra de restos óseos, de la colección esquelética procedente del cementerio municipal de San José de Granada, también fue considerada, tanto para obtener nuevas funciones discriminantes como para la validación de las funciones discriminantes obtenidas a partir del examen de imágenes computarizadas.

En todos los casos, para verificar la reproductibilidad de las mediciones se consideró una submuestra seleccionada aleatoriamente que, al menos, representara el 20% de la muestra final. Sobre esta muestra, el observador principal realizó mediciones en dos ocasiones, separadas por un intervalo de tiempo de unas dos o tres semanas aproximadamente. A continuación, un segundo observador instruido por el observador principal sobre el procedimiento de medición que se utilizó en cada estudio, tomó mediciones sobre la misma submuestra que ya había sido analizada por el primer observador.

4.3. Análisis del error inter- e intraobservador

Una de las propiedades de toda medición es su repetibilidad (Muñiz, 1992). La repetibilidad es la capacidad de un método de medición para producir resultados similares cada vez que se aplica a un mismo objeto en más de una ocasión, pero en condiciones idénticas. Hoy en día es difícil encontrar investigaciones en las que las variables se pueden medir sin error (Harris, 2009). Por ejemplo, consideremos la posibilidad de medir una misma dimensión, como el diámetro del cuello del fémur, varias veces. Múltiples mediciones de la misma variable no siempre llevan al mismo dato debido a la variabilidad en el proceso de medición. La variabilidad entre mediciones depende no sólo de la variabilidad de los observadores, sino de la variabilidad del instrumento de medida utilizado o del propio proceso de medición si se realiza en momentos diferentes.

Para un estudio antropométrico se pueden construir numerosas dimensiones sobre un hueso, pero ninguna se puede medir sin error. De hecho, hay dos cuestiones complementarias: exactitud (en inglés, *accuracy*) y precisión (en inglés, *precision*). La exactitud es la cercanía de los valores medidos con el valor verdadero.

La precisión, por el contrario, es la cercanía de mediciones repetidas de una misma cantidad.

Por lo tanto, uno de los primeros objetivos de nuestro trabajo es cuantificar estas fuentes de variación. Salvo que haya alguna razón para sospechar que existen problemas de exactitud (que en el contexto de esta memoria estaría relacionado con el hecho de disponer de un equipo bien calibrado para realizar la medición), la atención debe centrarse en analizar la precisión de la medición.

La única manera de cuantificar el error de medida es tomando mediciones repetidas de los mismos objetos. Sobre la submuestra aleatoria que representa al menos el 20% de la muestra final, el observador principal y un segundo observador toman mediciones por el procedimiento indicado en la sección anterior. En base a estas mediciones:

- El error de medida intraobservador tiene por objetivo evaluar el grado de consistencia al efectuar la medición de un observador consigo mismo y,
- el error de medición interobservador se refiere a la consistencia entre los dos observadores distintos que evalúan un mismo objeto del mismo individuo.

En un principio se ha de intentar mejorar la precisión de la medición, lo que, en general, significa reducir el error intraobservador (las diferencias entre observadores suelen ser mayores que las diferencias obtenidas por un mismo observador (Utermohle *et al.*, 1983; Kieser *et al.*, 1990)).

Para ello, en primer lugar es necesario tener en cuenta algunas maneras obvias de reducir estos errores, como son:

- Definir de forma exacta los puntos de referencia que determinan una medición,
- Mejorar la experiencia del observador (y, por lo tanto, la coherencia) y,
- Evitar la fatiga (la eliminación total de esta fuente de variación en ocasiones puede ser difícil).

Las medidas estadísticas que se han utilizado en esta memoria para analizar la variabilidad en las mediciones y, que describimos a continuación, son aplicables para variables continuas, por lo que en otros estudios que requieran el análisis de variables nominales u ordinales, otras medidas de concordancia serían más adecuadas y no se analizan aquí. El análisis del error intra- e interobservador se realizó utilizando los siguientes coeficientes (Lin, 1989; Weinberg *et al.*, 2005; Ulijaszek y Kerr, 1999), tal y como se explica a continuación:

- El coeficiente de correlación de concordancia de Lin,
- el error técnico de medición (TEM, acrónimo correspondiente a *technical error of measurement*),
- el error técnico relativo de medición (% TEM),
- el coeficiente de fiabilidad (R).

Una de medidas de concordancia, ampliamente utilizada en este contexto, es un índice desarrollado por Lin (1989), que se conoce como coeficiente de correlación de concordancia. Si x y y representan las variables correspondientes a la primera y segunda medición, respectivamente, su valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$r_c = \frac{2 * Cov(x, y)}{S_x^2 + S_y^2 + (\bar{x} - \bar{y})^2},$$

donde,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad Cov(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}).$$

Este coeficiente verifica las siguientes propiedades (Lawrence I-Kuei, 1989):

- i) $-1 \leq -|r| \leq r_c \leq |r| \leq 1$, donde r es el coeficiente de correlación de Pearson.
- ii) $r_c = r$ si se verifica que $S_x = S_y$ y $\bar{x} = \bar{y}$
- iii) $r_c = 1$ si para cada pareja de datos (x,y) , los valores de x e y son iguales
- iv) $r_c = -1$ si para cada pareja de datos (x,y) , los valores de x e y están en posición inversa.

El resultado que se obtiene aplicando la fórmula anterior indica (Lin, 1989 y McBride, 2005):

- i) un acuerdo casi perfecto si $r_c > 0.99$

- ii) un acuerdo sustancial para valores entre $0.95 \leq r_c \leq 0.99$,
- iii) un acuerdo moderado para valores entre $0.90 \leq r_c \leq 0.95$, y,
- iv) un acuerdo pobre cuando $r_c < 0.90$.

Entre los motivos por los que se utilizó este método destacamos que Lin mostró que este método de evaluar la reproductibilidad de una medida es superior al de comparación de coeficientes de variación (Mandeville, 2007), prueba t pareada (Tzvetkov, 2009), regresión, correlación de Pearson (Tzvetkov, 2009) y correlación intraclase (Barton *et al.*, 2009); además, se ha demostrado que la prueba es robusta (Mandeville, 2007).

Aunque en la mayoría de las publicaciones el uso del coeficiente resultó ser suficiente, actualmente, también es habitual el cálculo de otras medidas que garanticen la reproductibilidad de la técnica de medición. Este método implica el cálculo de varias medidas. En primer lugar, se obtiene el error técnico de medida, TEM intra- e interobservador y que es habitual representarlo por la siguiente expresión:

$$\text{TEM} = \sqrt{\frac{(\sum D)^2}{2N}},$$

donde D representa la diferencia entre la primera y la segunda medición y N es el número de individuos medidos. Este coeficiente siempre tiene unidades de medida (la misma unidad que la variable, cm, mm...). Por lo tanto, esta medida no sirve para evaluar la imprecisión comparativa de las diferentes mediciones. Para comparar los errores de distintas variables, es necesario transformarlo en el error técnico relativo (% TEM) de la siguiente manera:

$$\% \text{ TEM} = \frac{\text{TEM}}{\text{media}} \times 100$$

Esta es una medida que tiene la forma habitual de una medida de desviación típica dividida por la media aritmética (lo que se denomina un coeficiente de variación, CV). Entre las ventajas de esta medida hay que destacar que es simple de calcular, no tiene unidades, por lo que se puede expresar como el porcentaje correspondiente al promedio total de la variable analizada, y, según los autores Ulijaszek y Kerr (1999), permite comparaciones directas de medidas

antropométricas de cualquier tipo. Para su interpretación, según Weinberg *et al.*, (2004), los porcentajes obtenidos se dividen en cinco categorías de precisión:

- i) porcentajes menores al 1% indican acuerdos excelentes;
- ii) porcentajes del 1% al 3.9%, indican acuerdos muy buenos;
- iii) porcentajes del 4% a 6.9%, indican acuerdos buenos;
- iv) porcentajes del 7% al 9.9% indican acuerdos moderados, y,
- v) porcentajes que superan el 10% indican acuerdos pobres.

Otra medida para comparar los errores de medición antropométrica consiste en utilizar el coeficiente de fiabilidad (R) que puede calcularse usando la siguiente expresión:

$$R = 1 - \left(\frac{TEM^2}{DE^2} \right) = 1 - \left(\frac{\%TEM}{CV^2} \right),$$

donde DE^2 , es la varianza inter-sujeto total para el estudio, incluido el error de medición, y $CV = (DE / media) \times 100$ es el coeficiente de variación. Este coeficiente representa la proporción de varianza entre sujetos libre de error de medición. Su valor oscila entre 0 (no fiable) y 1 (fiabilidad completa, es decir, no se presentó error de medición).

Los valores correspondientes de este coeficiente se pueden usar para comparar la fiabilidad de diferentes mediciones antropométricas de la siguiente manera. Por ejemplo, si R es 0,97, esto significa que un 97% de la varianza se debe a otros factores aparte del error de medición humana. Por lo tanto, valores altos de R indican una mayor precisión de medición. Siguiendo a Ulijaszek y Kerr (1999), en las publicaciones se ha considerado un valor de corte de 0.95, es decir, un error de medición de hasta 5%, lo que nos lleva a considerar que:

- valores de R mayores a 0.95 son lo suficientemente precisos.

El cálculo de estos coeficientes se realizó utilizando el programa Excel (Microsoft, 2010).

4.4. Paquete estadístico

Todos los datos se registraron para el análisis estadístico en el programa de software SPSS v.20 y v.24 (IBM, Somers, NY, EEUU). Las decisiones obtenidas en base a pruebas estadísticas realizadas con SPSS se tomaron estableciendo el *nivel de error tipo I*, máximo que se está dispuesto a aceptar, también denominado *nivel de significación* de la prueba. En esta memoria este valor se fijó, como es usual, en 0.05.

4.5. Análisis de la simetría (lateralidad)

Sobre la submuestra, que constaba del 20% de las observaciones de la muestra final, se tomaron mediciones de todas las variables sobre el lado derecho e izquierdo, con el fin de analizar la simetría de las mismas en ambos lados. Esta propiedad se confirmó mediante la prueba t de muestras pareadas a un nivel de significación de 0.05, por lo que en la muestra final únicamente se midió un lado. La decisión de uno u otro lado se tomó teniendo en cuenta que, aunque la osteoartritis o la entesopatía están presentes comúnmente en hombres y mujeres mayores de 55 años, sólo se seleccionó a todos aquellos individuos que no mostraron patologías en la parte del hueso sobre el que se realizaron las mediciones o que dicha patología no afectaba a la medición.

También se utilizó esta prueba para evaluar diferencias en las mediciones tomadas desde distintas vistas, por ejemplo en el caso del extremo proximal del fémur, se consideró la vista anteroposterior y posteroanterior, pero no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas a un nivel de significación de 0.05.

4.6. Análisis descriptivo

Una vez que la reproductibilidad y la simetría de las mediciones quedaron verificadas, el observador principal midió las variables seleccionadas en cada estudio sobre la muestra aleatoria completa. Una vez recogidos y grabados todos los datos, el primer paso para su descripción es realizar un análisis descriptivo. Este análisis nos permite, entre otras cosas, detectar posibles errores cometidos

en la recogida y/o elaboración de la base de datos, la presencia de valores perdidos y caracterizar a la población estudiada.

Para ello se obtienen, entre otros, promedios, desviaciones típicas y coeficientes de correlación de Pearson, que permiten explicar las características de la muestra del estudio en los dos grupos considerados, hombres y mujeres. Es claro, que no se obtuvieron resultados sobre cada uno de los lados en el que se realizó la medición, ya que una prueba anterior había confirmado la simetría de ambos lados.

4.7. Comprobación de las hipótesis previas

A continuación, y antes de efectuar el análisis discriminante, se procede a comprobar una serie de supuestos:

- ❖ El número de variables discriminantes debe ser menor que el tamaño de la muestra menos 2, es decir, si se toman q variables independientes, $q < (n-2)$ siendo $n \equiv$ número de individuos u objetos.
- ❖ Ninguna variable discriminante puede ser combinación lineal de otras variables discriminantes.
- ❖ El número máximo de funciones discriminantes es el mínimo entre el número de variables y el número de grupos menos 1.
- ❖ Las matrices de covarianzas dentro de cada grupo deben de ser aproximadamente iguales (*hipótesis de homocedasticidad*).
- ❖ Las variables continuas de cada uno de los grupos deben seguir una distribución normal multivariante (*hipótesis de normalidad*).

La hipótesis de normalidad es necesaria para realizar los tests de significación de las funciones discriminantes. En ausencia de normalidad se aconseja utilizar otros procedimientos como, por ejemplo, la regresión logística.

En cuanto a la hipótesis de homocedasticidad, ésta afecta a la validez de los test de significación y de la regla de clasificación. La violación de esta hipótesis puede producir desajustes si hay diferencias grandes entre el tamaño de los grupos y si el número de variables es elevado.

En la práctica, el análisis discriminante es una técnica robusta y funciona bien aunque alguna de las dos hipótesis anteriores no se verifiquen.

4.8. Comparación de medias para verificar el dimorfismo sexual

Una vez analizados los supuestos anteriores, es de gran utilidad comprobar si las diferencias que se observan entre los grupos por sexo son o no significativas. Este primer análisis es decisivo para la realización del análisis discriminante ya que si no hay dimorfismo sexual carecería de interés continuar con el análisis, ya que significaría que las variables analizadas no tienen capacidad discriminante significativa.

En este caso, bajo el supuesto de normalidad verificado anteriormente, se realizó la prueba t de Student para muestras independientes. Este procedimiento requiere comprobar previamente la igualdad de varianzas mediante el test de Levene. A partir de los resultados obtenidos en esta comparación de medias, se identificaron las variables que muestran una diferencia estadísticamente significativa entre las poblaciones de hombres y mujeres.

4.9. Estimación paramétrica de las funciones discriminantes

Los resultados obtenidos en los pasos anteriores nos llevaron en los trabajos publicados a considerar que el análisis de funciones discriminantes era la técnica más adecuada para el análisis de la información disponible. Por lo tanto, aquellas variables que mostraron diferencias significativas según el sexo (dimorfismo sexual) se sometieron a esta técnica multivariante.

Los estadísticos usados fueron los siguientes:

- ❖ *F de Snedecor*. El objetivo es comparar para cada variable las desviaciones de las medias de cada uno de los grupos a la media total, entre las desviaciones a la media dentro de cada grupo.
 - Si el valor de F es grande para cada variable, entonces las medias de cada grupo están muy separadas y la variable discrimina bien.

- Si el valor de F es pequeño, la variable discriminará poco, debido a que habrá poca homogeneidad en los grupos y éstos estarán muy próximos.
- ❖ λ de Wilks (también denominado *U-estadístico*). Considerando las variables de modo individual, el resultado de este estadístico se obtiene como el cociente entre la suma de cuadrados dentro de los grupos y la suma de cuadrados total (sin distinguir grupos). Es decir, equivale a las desviaciones a la media dentro de cada grupo, entre las desviaciones a la media total sin distinguir grupos.
 - Si su valor es pequeño, la variable discrimina mucho: la variabilidad total se debe a las diferencias entre grupos, no a las diferencias dentro de los grupos.

Dado que el interés es obtener una función discriminante con un buen poder clasificatorio y saber qué variables determinan mejor la pertenencia a los grupos, el método elegido para obtener las funciones discriminantes es denominado *paso a paso*. En este procedimiento pueden entrar, y también salir, aquellas variables que cumpliendo el requisito mínimo (valor mínimo de F para entrar o valor máximo de F para salir), tenga un valor más pequeño del estadístico *Lambda de Wilks*. Antes de comenzar la aplicación del procedimiento es necesario fijar un valor mínimo de F para entrar y un valor máximo de F para salir. En nuestro caso, el criterio de selección es el que el programa SPSS ofrece por defecto (3.84 y 2.71 respectivamente).

En las funciones discriminantes unidimensionales los valores de λ de Wilk, miden la capacidad de cada función de separar los casos en grupos. Estos valores se calcularon para todas las variables consideradas inicialmente (los valores más pequeños indican una mayor capacidad discriminadora de la función).

Aunque se midieron numerosas variables inicialmente, sólo aquellas variables y/o conjuntos de variables con mayor poder discriminatorio son las que se utilizaron para elaborar un conjunto de ecuaciones que, aplicadas a la población española, permitan una mejor diferenciación entre hombres y mujeres. Así pues, las funciones discriminantes que finalmente resultaron publicadas son combinaciones lineales de las variables que mejor discriminan o separan por sexo.

4.10. Validación de las funciones discriminantes, valoración de la capacidad predictiva y probabilidades *a posteriori*

Para evaluar la calidad de los modelos predictivos obtenidos, se ha empleado la técnica de *validación cruzada dejando uno fuera* (también denominado *procedimiento jackknife*). Este método implica calcular todos los posibles modelos dejando fuera una observación cada vez. Para los conjuntos grandes de datos, este procedimiento tiene el inconveniente de que a nivel computacional puede ser laborioso porque vuelve a calcular los modelos tantas veces como observaciones haya. La ventaja que presenta este proceso es que el error es muy bajo.

Una vez estimada la función discriminante, el siguiente paso es valorar la capacidad predictiva del análisis efectuado, es decir, medir la bondad del ajuste del modelo. Para ello el programa estadístico SPSS obtiene la matriz de clasificación, también llamada *matriz de confusión*. Dado que en nuestra muestra sabemos qué sexo corresponde a cada individuo, lo que hace la matriz de confusión es cruzar la clasificación real con la estimada mediante la función discriminante. Cuantos más casos hayan sido correctamente clasificados, más probable es que acertemos a la hora de utilizar la función con fines predictivos o, bajo otra perspectiva, más seguros estaremos de que las variables que han entrado son las que realmente determinan la clasificación.

La capacidad predictiva de las funciones discriminantes se evalúa mediante el establecimiento de puntos de corte, que permite asignar los casos a cada uno de los grupos definidos por la variable dependiente. Para ello, en primer lugar se obtiene de la puntuación discriminante que corresponde a cada caso, a partir de los valores que presenta el individuo en la combinación de variables explicativas que forman las funciones discriminantes y comparando con los puntos de corte, se asignan los casos a un grupo u otro. En los trabajos publicados se hicieron los cálculos necesarios para que el punto de corte fuese el valor cero.

Finalmente, se calcularon las probabilidades *a posteriori* para cada modelo, es decir, las probabilidades de asignar observaciones a cada grupo dados los datos.

4.11. Utilización de las funciones discriminantes y validación en hueso seco

El cálculo de la puntuación discriminante permite, como hemos indicado anteriormente, determinar el sexo del individuo con facilidad. La utilización de las ecuaciones discriminantes seleccionadas en cada estudio considerando las mediciones obtenidas sobre hueso seco permitieron obtener porcentajes de correcta asignación. Este análisis se usó en nuestros trabajos publicados para concluir que las funciones discriminantes obtenidas sobre imágenes computerizadas eran validadas al aplicarlas sobre hueso seco y, del revés, para validar funciones discriminantes obtenidas sobre hueso seco utilizando mediciones realizadas sobre imágenes computerizadas.

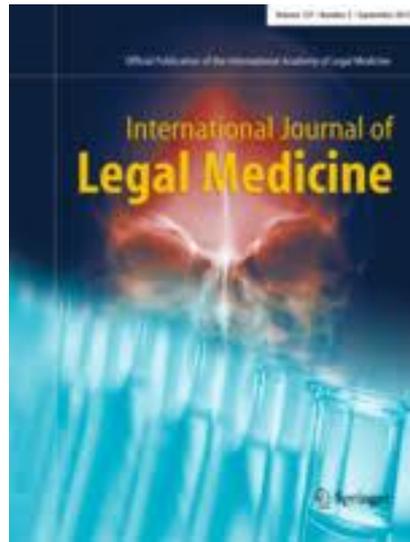
RESULTADOS

5.1. INDICIOS DE CALIDAD DE LAS REVISTAS EN LAS QUE HAN SIDO PUBLICADOS LOS ARTÍCULOS

Para la publicación de los dos primeros artículos:

1. Djorojevic M, Roldán C, García-Parra P, Alemán I, Botella, M (2014) Morphometric sex estimation from 3D computed tomography os coxae model and its validation in skeletal remains. *Int J Legal Med* 128(5): 879–888. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1033-x> ,y
2. Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I (2015) Estimation of Purkait's triangle method and alternative models for sex assessment from the proximal femur in the Spanish population. *Int J Legal Med* 130(1):245–251. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1201-7>,

se ha escogido **International Journal of Legal Medicine**, la revista altamente posicionada entre las de su categoría del *Journal Citation Reports*, que también incluye temas relacionados con la Antropología Forense. En esta ocasión, los objetivos planteados están vinculados de forma específica a la Medicina Legal y a las Ciencias Forenses.



Journal Title:	INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE
ISO Abbreviation Title:	Int. J. Legal Med.
JCR Abbreviation Title:	INT J LEGAL MED
ISSN:	0937-9827
Issue/year:	6
Language:	ENGLISH
Journal Country/Territory:	GERMANY
Publisher:	SPRINGER
Publisher Adress:	233 SPRING ST, NEW YORK, NY 10013
Category name:	LEGAL MEDICINE

Category Name	Total Journals in category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
Legal Medicine	15	2	Q1

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year IF	Immediacy Index	Citable Items	Cited half-items	Citing half-life
INT J LEGAL MED	0937-9827	2936	2.862	2.655	0.62	163	5.9	8.3

5.2. ARTÍCULO 1 (VERSIÓN ACEPTADA)

MORFOMETRÍA TRADICIONAL EN LA ESTIMACIÓN DEL SEXO A PARTIR DEL HUESO COXAL EN 3D. VALIDACIÓN DE MODELOS OBTENIDOS EN LOS RESTOS ÓSEOS

5.3. Resumen

En la última década, con los avances en las técnicas de imagen se ha intensificado el uso de la tomografía computarizada (TC) con fines antropológicos. La literatura publicada ha demostrado su utilidad para establecer el dimorfismo sexual a partir de diferentes áreas anatómicas. El objetivo principal del presente estudio ha sido explorar la precisión de osteometría tradicional aplicada en los datos adquiridos en vivo del coxal reconstruido en tres dimensiones (3D); desarrollar una serie de patrones estadísticamente robustos para la evaluación del sexo y estimar su validez en los restos óseos. Para este propósito, se seleccionaron 150 TAC reconstruidos en 3D, se examinaron nueve distancias lineales y los datos se sometieron a la estadística descriptiva y análisis de funciones discriminantes (DFA) empleando el procedimiento *jackknife* para la validación cruzada. Cinco mediciones presentaron dimorfismo sexual. El diámetro del acetábulo demostró la mayor precisión en determinar el sexo. Éste, en combinación con la altura y la anchura del coxal, contribuyó de manera muy significativa al elevado porcentaje de asignación correcta. En general, la precisión en la clasificación fue comprendida entre 89.3% y 95.3% (89.3 y 94.7% después de la validación cruzada), con el sesgo inferior a 5%. La validación de las fórmulas obtenidas en vivo en una muestra de 96 individuos procedentes de la colección española de individuos esqueléticos de la época contemporánea demostró un alto porcentaje de individuos correctamente clasificados (83.3% - 95.8%). En conclusión, la estimación del sexo a partir de TAC del hueso coxal es posible y las funciones discriminantes desarrolladas a partir de datos obtenidos en sujetos vivos también pueden ser eficaces para la estimación del sexo en los restos óseos.

5.4 LICENCIA DE LA EDITORIAL SPRINGER PARA EL USO DEL ARTÍCULO PARA PROPÓSITOS ACADÉMICOS

**SPRINGER NATURE LICENSE
TERMS AND CONDITIONS**

Jun 05, 2018

This Agreement between Faculty of Medicine -- Mirjana Djorojevic ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4362470766931
License date	Jun 05, 2018
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	International Journal of Legal Medicine
Licensed Content Title	Morphometric sex estimation from 3D computed tomography os coxae model and its validation in skeletal remains
Licensed Content Author	Mirjana Djorojevic, Concepción Roldán, Patricia García-Parra et al
Licensed Content Date	Jan 1, 2014
Licensed Content Volume	128
Licensed Content Issue	5
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	full article/chapter
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	<501
Author of this Springer Nature content	yes
Title	DETERMINACIÓN DEL SEXO MEDIANTE UN ESTUDIO DE LA PELVIS Y EL FÉMUR PROXIMAL A PARTIR DE RESTOS ÓSEOS E IMÁGENES EN 3D
Instructor name	Inmaculada Alemán & Concepción Roldán
Institution name	University of Granada, Faculty of Medicine
Expected presentation date	Jul 2018
Requestor Location	Faculty of Medicine Investigación Av. 16 Granada, Spain 18016 Spain Attn: Mirjana Djorojevic
Billing Type	Invoice
Billing Address	Faculty of Medicine Investigación Av. 16 Granada, Spain 18016 Attn: Mirjana Djorojevic
Total	0.00 EUR
Terms and Conditions	

Springer Nature Terms and Conditions for RightsLink Permissions

Springer Customer Service Centre GmbH (the Licensor) hereby grants you a non-exclusive, world-wide licence to reproduce the material and for the purpose and requirements specified in the attached copy of your order form, and for no other use, subject to the conditions below:

1. The Licensor warrants that it has, to the best of its knowledge, the rights to license reuse of this material. However, you should ensure that the material you are requesting is original to the Licensor and does not carry the copyright of another entity (as credited in the published version).

If the credit line on any part of the material you have requested indicates that it was reprinted or adapted with permission from another source, then you should also seek permission from that source to reuse the material.
2. Where **print only** permission has been granted for a fee, separate permission must be obtained for any additional electronic re-use.
3. Permission granted **free of charge** for material in print is also usually granted for any electronic version of that work, provided that the material is incidental to your work as a whole and that the electronic version is essentially equivalent to, or substitutes for, the print version.
4. A licence for 'post on a website' is valid for 12 months from the licence date. This licence does not cover use of full text articles on websites.
5. Where '**reuse in a dissertation/thesis**' has been selected the following terms apply: Print rights for up to 100 copies, electronic rights for use only on a personal website or institutional repository as defined by the Sherpa guideline (www.sherpa.ac.uk/romeo/).
6. Permission granted for books and journals is granted for the lifetime of the first edition and does not apply to second and subsequent editions (except where the first edition permission was granted free of charge or for signatories to the STM Permissions Guidelines <http://www.stm-assoc.org/copyright-legal-affairs/permissions/permissions-guidelines/>), and does not apply for editions in other languages unless additional translation rights have been granted separately in the licence.
7. Rights for additional components such as custom editions and derivatives require additional permission and may be subject to an additional fee. Please apply to Journalpermissions@springernature.com/bookpermissions@springernature.com for these rights.
8. The Licensor's permission must be acknowledged next to the licensed material in print. In electronic form, this acknowledgement must be visible at the same time as the figures/tables/illustrations or abstract, and must be hyperlinked to the journal/book's homepage. Our required acknowledgement format is in the Appendix below.
9. Use of the material for incidental promotional use, minor editing privileges (this does not include cropping, adapting, omitting material or any other changes that affect the meaning, intention or moral rights of the author) and copies for the disabled are permitted under this licence.
10. Minor adaptations of single figures (changes of format, colour and style) do not require the Licensor's approval. However, the adaptation should be credited as shown in Appendix below.

Appendix — Acknowledgements:

For Journal Content:

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

For Advance Online Publication papers:

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION

5/6/2018

RightsLink Printable License

(Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM].)

For Adaptations/Translations:

Adapted/Translated by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

Note: For any republication from the British Journal of Cancer, the following credit line style applies:

Reprinted/adapted/translated by permission from [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: : [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

For Advance Online Publication papers:

Reprinted by permission from The [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM])]

For Book content:

Reprinted/adapted by permission from [the Licensor]: [Book Publisher (e.g. Palgrave Macmillan, Springer etc)] [Book Title] by [Book author(s)] [COPYRIGHT] (year of publication)

Other Conditions:

Version 1.0

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Manuscript

[Click here to download Manuscript: MDj 17 May.pdf](#)
[Click here to view linked References](#)

MORPHOMETRIC SEX ESTIMATION FROM THREE-DIMENSIONAL COMPUTED TOMOGRAPHY *OS COXAE* MODEL AND ITS VALIDATION IN SKELETAL REMAINS

Mirjana Djorojevic^{*§} · Concepción Roldán · Patricia García-Parra · Inmaculada Alemán · Miguel Botella

Abstract In the last decade, the advances in imaging technologies have intensified the use of multislice computed tomography (MSCT) for anthropological purposes. The published literature has proved it to be a suitable tool for establishing sexually dimorphic characteristics in different anatomical areas. In this context, the main purpose of the present study was to explore the accuracy of traditional morphometric method when applied to data acquired in three-dimensional (3D) reconstructed *os coxae* of living Spanish population, to develop a series of statistically robust patterns for sex assessment and to test their validity in innominate remains. For this purpose, 150 volume-rendered innominate CT-scans were selected to examine 9 inter landmark linear distances by means of descriptive statistics and discriminant function analyses (DFA) employing the jackknife procedure for cross-validations. Five measurements were sexually dimorphic. Acetabular diameter was the single most accurate predictor. This, combined with innominate height and innominate breadth, contributed very significantly to sex estimation. Overall, classification accuracies were 89.3 – 95.3% (89.3% - 94.7% after cross-validation), with a sex-bias lower than 5%. The second validation approach performed on a sample of 96 individuals from another contemporary Spanish reference collection comprising dry bones showed the high percentage of accurate classification (83.3% - 95.8%). In conclusion, the assessment of sex using cross-sectional MSCT images of the *os coxae* is possible and the discriminant functions obtained on Spanish living individuals can also be effective for estimating sex from skeletal remains.

Keywords *Os coxae*, Sex estimation, Three-dimensional Computed Tomography, Discriminant functions, Forensic Science

Reviewer 1's suggestions, [in blue](#)

Reviewer 2's suggestions, [in green](#)

M. Djorojevic (✉) · P. García-Parra · I. Alemán · M. Botella
Department of Legal Medicine, Toxicology and Physical Anthropology,
C. Roldán
Department of Biostatistics,
Faculty of Medicine, University of Granada,
11 Madrid Av., Granada 18012, Spain
e-mail: mdjorojevic@ugr.es

[§] This paper is part of a principal author's PhD Thesis.

1. Introduction

Due to its sexually dimorphic nature which is mainly imposed by locomotion and the need for childbirth, the innominate has long been recognized as the most reliable bone regarding information that can provide about sex of adult individuals ([e.g. 1, 2, 3]). The levels of sexual dimorphism vary geographically and thus, forensic anthropologists are continually attempting to test existing methods and develop more efficient and objective standards, both population-specific and forensic diagnostic, which could optimize the positive identification of human skeletal remains [4- 8].

Over the years, visual and metric assessments for the analysis of sexual dimorphism of the complete pelvis or its segments have been extensively discussed in literature. Despite the high degree of accuracy that the morphoscopic approach can provide [9, 10, 11] and the rapidity of its use, Bruzek [12], when analysed this method on Phenice's findings [13], qualified it as inconsistent due to the fact that the whole innominate is considered and that subsequent wide range of accuracy makes age estimation difficult.

Bruzek's method [12], relatively recently proposed for the study of some insufficiently considered pelvic aspects, has contributed to improve the efficiency of the visual approach for the assessment of sex (up to 95%), to reduce the observer's subjectivity and increase the probability of a correct sexing with isolated fragments of the *os coxae*. Although Walker [14] recognized that this technique was almost as accurate as the metric one regarding sex estimation of the greater sciatic notch, Murail et al. [15] sustained that several drawbacks of the visual method remain unchanged: (i) high degree of intra- and inter observer subjectivity ; (ii) previous experience influences successful estimation of sex; (iii) a full reliability can be achieved from the complete innominate only; and (iv) sex dimorphism may fail if female and male features are equally represented.

During the last twenty years numerous studies have been published, reporting high accuracy in metric sex estimation of the complete or fragmented innominate in a variety of populations, when discriminant function analysis (DFA) is applied (e.g. modern Greek – 94.8% [3], South African blacks and whites – 94.5% [16], Spanish – 95.71% [17, 18] (see also [19, 20]), Mexican – 99% [5], the Terry Collection and the Coimbra Collection – 90% and 98.5% respectively [21]). The principal advantage of the morphometric technique over the visual ones is that it is easier to apply, less subjective and does not need an experienced observer. Besides, it shows consistency in the recording of variables and availability of powerful statistical methods for the analysis of continuous data [6 and therein, 15, 21, 22]. The results are mostly expressed numerically and graphically in terms of linear combinations of the measured variables. Although many morphological features can be quantified by just measuring size of particular structure, there are also those which are more complex and cannot be computed by size alone. For such traits the information about shape is needed. That is why a new method, called

geometric morphometric (GM), has been proposed. GM is focused on analysis of pure shape, using 2D and 3D coordinates of anatomical landmarks and semi landmarks with the assumption that the landmark points are homologous across specimens [23, 24, 25]. Since the original geometry of the landmark configurations is retained through statistical analysis, the results can be represented by graphical visualizations as shape variability. The application of GM assessments in Forensic Anthropology is relatively new: in recent years, they have been used to examine shape variation in e.g., pelvis, humerus, acetabulum and glenoid cavity, reporting correct sexual assignment ranging between 84.1%-96.4% [6, 26, 27, 28] for data taken from 2D, and 83.5%-88% accuracy for the innominate and skull using 3D shape [7, 8]. The statistical results were achieved mainly by way of principal components analysis (PCA), canonical variate analysis (CVA) and discriminant function analysis (DFA). Nevertheless, landmark data have the disadvantage of being more difficult to analyze than traditionally measured variables due to their differing identification precision [23, 29]. In traditional morphometrics the error assessment is relatively easy to test with univariate and multivariate statistical analyses. However, in geometric morphometrics, it is more difficult to estimate the extent of observer-differences in data acquisition until the configurations of landmarks are compared [29]. While in traditional morphometric techniques a protocol for assessing landmark error has already been suggested [30], in geometric morphometrics it has not been agreed yet.

Due to advances in imaging technologies, the application of multi-slice computed tomography (MSCT) in Forensic Anthropology has been intensified in the last decade. This image-based method offers acquisition of highly accurate anatomical volume rendering models and multi-planar reconstruction, which make examinations less time-consuming, virtual manipulation of the bone easier and without previous preparation or alteration to material studied. Quick and harmless explorations as well as objective diagnostics have also made CT become one of the main methods of choice for disaster victim identification and virtual autopsy [31, 32].

Although GMM offers new possibilities in sex assessment, a variety of publications that have appeared in the last decade have demonstrated that standard metric methods are still proving to yield objective and reliable measurements even of the data sets obtained in 3D CT-reconstructions (e.g. crania-96% [33]), foramen magnum -73.3% -90.7 % [34], tali y radi-90.9%-93.9% [35], pars petrosa -77.6%-83.6% [36], see also [37, 38]. As for the adult innominate, which is of particular interest for our study, sexually dimorphic differences in this anatomical element have also been correctly identified from reconstructed CT-scans [39, 40], with a resulting prediction success ranging from 89.1% to 100%. These percentages of correct assignment are in the range of previous descriptions [3-5, 16-21] which applied standard metric technique in sex assessment of the dry *os*

coxae. Successful attempts have also been made to validate the reliability of 3D volumetric virtual models in age estimation [41, 42].

Bearing in mind the increasing importance of MSCT in forensic investigations and repeatedly expressed need to establish population-specific criteria for human identification, the present study was conducted with a fourfold purpose: (i) to test the accuracy of traditional morphometric method when applied to a data set derived from 3D virtual models of the innominate; (ii) to achieve metric quantification of inter- and intra-observer agreement; (iii) to elaborate reliable formulae comprising the most dimorphic variables for sex prediction of living Spanish people through DFA, and (iv) to verify the repeatability of these equations in sex estimation from the dry *os coxae*.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

This study analysed a sample consisting of a total of 150 clinical scans (75 female and 75 male), randomly selected to estimate sex from 3D computed tomography models of the *os coxae*. The ages for these subjects ranged from 24-90 years, with an average of 59.0 ± 12.7 for females and 64.9 ± 14.0 for males. The material studied was conceded to the Physical Anthropology Laboratory of the University of Granada by Castilla-La Mancha Health Care Service (SESCAM). The patients with history of trauma, hip prosthesis or no age-related pathologies were excluded from the study. CT- scans have been obtained from living adult Spanish people with known sex and age data. The second sample in this research derived from San José Granada Municipal Cemetery, Southern Spain, comprising measurements of 96 documented adult Spanish (50 females and 46 males) who had died between 1920 y 1990. This data set was employed to verify the reproducibility of morphometric findings obtained from the original sample with patient-specific information. The ages for these subjects ranged from 22-93 years, with an average of 67.1 ± 17.4 for females and 66.4 ± 11.1 for males. This research was governed by the provisions of the Law on Protection of Personal Data 15/1999 and the General Health Act 14/1986 of Spain, on access to medical records for legal, epidemiological, public health, research or teaching purposes. In accordance with this law, the scans were anonymous when received by the authors, with only the sex and the age data retained. Specific information about ethnicity of the subjects was unavailable, but the sample was taken as being representative of a typical contemporary Spanish population.

2.2. Methods

2.2.1. Computed tomography data and innominate measurements

The study was carried out using CT-scans saved as Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) files, and post processing was performed with operating system MAC OS X v. 10.7.2 and medical imaging and measurement software Osirix v.4.1 32-bit [8]. The patients who had undergone abdominopelvic, thoraco-abdominal and abdominal computed tomography (CT) from 2009-2011 were selected for our research. 3D anatomical pelvic models were reconstructed from a set of CT images (1mm and 2.5mm thick slices, resolution 512x 512 pixels). Based on standard anthropometric techniques and literature (e.g. [2-5, 16-21, 43-44]) and using Osirix software, 18 osteometric landmarks listed in Table 1 were selected and manually located on the surface of 3D reconstructed models of the left and right *os coxae*. From these, 9 linear inter-landmark distances, automatically provided by the same software, were subsequently recorded and analysed using SPSS v.20 (IBM, Somers, NY). The highest point of the superior margin of the pubic symphysis was the one that three different metric variables had in common namely pubic length (PL), symphysis pubic height (SPH) and innominate breadth (IBM). Anterior, posterior, anterolateral, posterolateral and medial view were selected for the detection of landmarks. The selected plane was assessed by the condition that each point had to be visualized as explained in the definition of measures.

Table 1 Description of the measurements on the *os coxae*

V	VARIABLE	ABBREVIATION	DESCRIPTION	Source
1	Innominate height, maximum	IHM	Maximum distance between the highest point of the iliac crest curvature and the lowest point of the ischion tubercle.	[43]
2	Innominate breadth, maximum	IBM	The straight line distance between the posterior superior iliac spine and the superior ridge of the pubic symphysis.	[43]
3	Iliac breadth	IB	The straight line distance between anterior superior iliac spine and posterior superior iliac spine.	[43]
4	The greater sciatic notch breadth	GSNB	The distance between the pyramidal tubercle and the superior sciatic spine rim.	[2]
5	Symphysis pubis height	SPH	Maximum distance between the superior and inferior margin of pubic symphysis.	[43]
6	Symphysis pubis width	SPW	Maximum symphysis pubis breadth measured perpendicularly to the symphysis pubis height.	[43]
7	Vertical acetabular diameter, maximum	VAD	Taken perpendicularly to the previous measurement, following the general axis of the ischium body, or perpendicular to the ascendent pubic ramus.	[2]

8	Horizontal acetabular diameter, maximum	HAD	The straight line distance between the most raised points of the acetabular rim, perpendicular to the ischium body.	[2]
9	Pubic length	PL	The distance between the superior margin of the pubic symphysis and the nearest rim of the acetabulum.	[44]

a b

Figure 1. **a** Lateral view of right *os coxae*. 3D image shows seven of the nine measurements with their respective landmarks. **b** Medial view of pelvic surface. 3D model shows the landmarks of the symphysis pubis height and width.

2.2.2. Statistical Analyses

We previously checked inter- and intra-observer agreement. The sample as a whole was re-measured on 3D CT models by the first anthropologist. Three weeks later, measurements were taken twice on a subset of 30 randomly selected patients by the first and the second examiner independently. Lin's concordance coefficient [45, 46] was then calculated to estimate inter- and intra-observer errors for each metric variable. The number of elements that were measured twice was 20% of measurable cases.

Regarding pelvic symmetry, the mean value of each right *os coxae* homologous measurements was compared with the left side one using a paired sample t-test for all cases. A mean value from both sides was obtained for each patient to perform the rest of the statistical analysis because no statistically significant differences were observed between them.

Normality was evaluated using Kolmogorov-Smirnov test and the F-test was run to evaluate equality of variance. Descriptive statistics were obtained for each of the variables (for the male and female groups) and Student's t-test was performed to assess sexual dimorphism for each of the measured variables.

Once the highly dimorphic variables were identified, multivariate normality assumption was checked for them. Next, stepwise DFA was performed to elaborate a set of equations that, applied to the Spanish population and those with closely related metric characteristics, would distinguish between males and females. That is, stepwise linear DA using the default F values (each variable was moved into the model in successive steps, F to enter = 3.84, F to remove = 2.71) was considered. Sectioning points are all zero because sample sizes for males and females are equal in this study. Note that when sample sizes differ, the sectioning point is nonzero. In our analysis, only the variables with the highest percentage of correct classification and a low sex bias were accepted as valid.

Posterior probabilities have been calculated to complete the analysis of the accuracies of the derived functions [47].

Two different cross-validations approaches were subsequently used to assess the predictive power of discriminant functions. First, we applied the jackknife procedure. Overall, 10 (leave-one-out) cross-validation discriminant analyses (DA) were performed. However, classifications based upon the [sample data](#) used to create the discriminant models tend to be over-optimistic (even after applying the jackknife procedure). For this reason we employed a second cross-validation using the sample of 96 subjects derived from the San José Granada Municipal Cemetery which was not involved in the discriminant model estimation. The measured values achieved from them were replaced in order to obtain the discriminant function scores for skeletal remains. Overall results were compared then with the corresponding sectioning points stated for each function. The bones were classified as male or female based on whether the discriminant scores were higher or lower than the sectioning points and after that, the percentages of correct classification were accomplished for all the functions. These percentages were compared to the original ones, that is, to those acquired from virtual anatomical models of living individuals. A Chi-squared test was used to assess whether or not a statistically significant difference existed between the original and holdout accuracy rates.

With regard to the statistical multivariate techniques considered in this paper, they can be found in wide variety of scientific literature (see e.g. [48]).

3. Results

Lin's concordance correlation coefficients for evaluation of intra- and inter-observer agreement were considered. These values showed that the measurements were in accordance with the accepted range of 0.90-0.99, indicating an acceptable level of error and a reliable measurement [45, 46].

The paired t -test results obtained to evaluate the presence of asymmetries between the right and left coxal bones from the same individual are reported in Table 2. P-values were ranged between 0.094 (HAD) and 0.994 (SPW). There were no statistically significant differences between right and left sides for all variables, therefore the data were pooled.

Table 2 The paired t-test evaluating asymmetries between right and left os coxae

Variable	N	Mean Diff.	SD	Stat t	P-value
IHM	75	-0.10057	4.70668	-0.262	0.794
IBM	75	-0.01100	7.83332	-0.017	0.986
IB	75	0.31376	4.81659	0.798	0.426
GSNB	75	0.02096	4.30791	0.060	0.953
SPH	75	0.26123	4.46689	0.716	0.475
SPW	75	0.00048	0.82121	0.007	0.994
VAD	75	0.25016	2.65172	1.155	0.250
HAD	75	0.18642	1.35471	1.685	0.094

PL	75	-1.03253	9.67593	-1.307	0.193
----	----	----------	---------	--------	-------

N, number of coxal bones pairs; Mean Diff., mean difference (measured in mm); SD, standard deviation

Kolmogorov-Smirnov test showed that the distribution of all variables was normal. The results for homogeneity of variance test are also shown in the two last columns. From F-test results we concluded that the variance may generally be assumed to be equal. All results included in this table have been taken into account for the comparison between sexes for each measurement that we have performed below.

3.1. Descriptive statistics

Table 3 presents the mean and the standard deviation for each measurement in both sexes. The mean values of the male measurements were generally higher than those of the females except for the greater sciatic notch breadth (GSNB). The differences between two groups are more evident in innominate height (IHM), iliac breadth (IB), greater sciatic notch breadth (GSNB), vertical acetabular diameter (VAD) and horizontal acetabular diameter (HAD). Innominate breadth (IBM), symphysis pubis height (SPH), symphysis pubis width (SPW) and pubic length (PL) revealed less dissimilarity.

The results of Student's *t*-test are also reported in Table 3. Measurements demonstrated that *os coxae* breadth (IBM), symphysis pubis width (SPW) and pubic length (PL) did not show a significant difference between sexes. The five variables that resulted highly significant were *os coxae* height (IHM), greater sciatic notch breadth (GSNB), symphysis pubis height (SPH), vertical acetabular diameter (VAD) and horizontal acetabular diameter (HAD). The iliac breadth (IB) resulted significant.

Table 3 Measures of central tendencies and comparisons of means for *os coxae* (measured in mm)

Variable	Male				Female				t	df	P-value
	N	Mean	SD	Range	N	Mean	SD	Range			
IHM	75	210.61	7.71	192.10-228.65	75	190.81	7.32	170.59-206.20	16.102	148	0.000**
IBM	75	175.51	12.83	148.90-201.53	75	173.91	12.13	141.08-201.96	0.785	148	0.434ns
IB	75	159.58	8.42	132.70-179.46	75	155.96	8.91	134.70-177.48	2.562	148	0.011*
GSNB	75	49.61	5.91	37.10-64.22	75	53.41	5.95	41.64-69.75	-3.925	148	0.000**
SPH	75	40.32	5.10	26.42-51.95	75	37.14	4.33	27.63-48.46	4.111	148	0.000**
SPW	75	17.56	2.90	10.27-24.36	75	16.79	3.20	9.79-25.11	1.532	148	0.128ns
VAD	75	54.00	3.44	44.15-60.80	75	46.65	2.68	40.07-54.30	14.603	140	0.000**
HAD	75	52.53	3.57	45.55-61.70	75	45.60	2.70	38.54-53.00	13.413	140	0.000**
PL	75	76.47	9.73	54.18-99.75	75	76.29	10.86	55.10-99.04	0.109	148	0.913ns

N, number of cases; SD, standard deviation; ns, not significant; *Alpha 0.05%; **Alpha 0.01%

3.2. Discriminant analyses

Only the variables that presented strong sexual dimorphism, i.e., *os coxae* height (IHM), iliac breadth (IB), greater sciatic notch breadth (GSNB), vertical acetabular diameter (VAD) and horizontal acetabular diameter (HAD), were selected for the stepwise DFA being analyzed individually or in combination using cross-validated DA. Wilk's Lambda statistics, which measure how well each

function separates cases into groups, were calculated (smaller values indicate greater discriminatory ability). The non-standardized coefficients of the functions, the sectioning points and the accuracy percentages for males and females are reported in Table 4.

Also note that, in general, the nine variables considered showed a low degree of correlation except vertical and horizontal acetabular diameters (VAD and HAD) and innominate height (IHM), which were relatively high. In fact, VAD and HAD presented the highest degree of correlation, 0.868. Taking into account this fact, Table 4 only considers the combination of variables which have fewer attribution errors and better-separate the two groups and excludes redundant functions. Table 4 displays ten discriminant function equations, two univariate (1 and 2), four bivariate (3 to 6) and the remaining functions were multivariate (7 to 10), the percentage of correct assignment diameters, VAD) with 89.3% and 90.0% accuracy, respectively. It also shows the mean posterior probability for correctly classified individuals and the percentiles 5th and 95th for each DFA.

Multivariate discriminant functions which employed the optimal combination of variables to discriminate groups were created using different combinations of the variables, as explained above. Sex estimation of an individual ranging from 89.3% to 95.8%, with associated sex biases of -4% to 2.7%. The most accurate single variables were *os coxae* height (IHM) and vertical acetabular diameters (VAD) (equivalently horizontal acetabular considering a formula presented in Table 4 can be accomplished multiplying the value of each measurement by its corresponding non-standardized coefficient and adding the products together with the constant. In general, if the result thus obtained is greater than the sectioning point, zero in our case, the individual is assigned as male; otherwise as female.

Table 4 Discriminant functions, accuracy percentage, cross-validation and posterior probabilities using clinical-patient data

Function	Variable	Non-stand. Coeff.	Wilks' Lambda	Accuracy	Sex bias	Cross-Validated ^a	Posterior probabilities		
							Mean	95% range (percentiles)	
							P ₅	P ₉₅	
Function 1	IHM	0.133	0,363	89.3%	-2.7%	89.3%	0.909	0.590	0.9995
	Constant	-26.653							
Function 2	VAD	0.324	0.410	90.0%	-4%	90.0%	0.883	0.573	0.9987
	Constant	-16.326							
Function 3	IHM	0.147	0.339	91.3%	1.3%	90.7%	0.922	0.665	0.9998
	IB	-0.041							
	Constant	-23.142							
Function 4	IHM	0.132	0.321	90.7%	2.7%	90.7%	0.928	0.637	0.9998
	GSNB	-0.072							
	Constant	-22.859							
Function 5	IHM	0.089	0.296	92.7%	4.0%	92.7%	0.937	0.599	0.9999
	VAD	0.178							
	Constant	-26.792							

Function 6	GSNB	-0.056							
	VAD	0.315	0.382	90.7%	-2.7%	90.7%	0.900	0.597	0.9990
	Constant	-12.978							
Function 7	IHM	0.145							
	IB	-0.035	0.305	92.0%	2.6%	91.3%	0.937	0.643	0.9999
	GSNB	-0.066							
	Constant	-20.214							
Function 8	IHM	0.105							
	IB	-0.044	0.271	94.0%	-4%	94.0%	0.953	0.673	1.0000
	VAD	0.184							
	Constant	-23.240							
Function 9	IHM	0.093							
	GSNB	-0.063	0.266	94.7%	0.0%	94.0%	0.948	0.640	1.0000
	VAD	0.167							
	Constant	-23.706							
Function 10	IHM	0.107							
	IB	-0.039	0.248	95.3%	-1.3%	94.7%	0.961	0.7298	1.0000
	GSNB	-0.058							
	VAD	0.173							
	Constant	-20.906							

Non-standardized coefficients and constants are to construct the discriminant equations

^a Jackknife leave- one- out method for cross validation is used

3.3. An assessment of the accuracy of discriminant function equations

The mean, the range and the standard deviation of the measurements employed in Yoldi et al.'s research [18] that served us to validate the repeatability are shown in Table 5. The range detected for each variable considered in our study falls into the extent reported in [18], except for innominate height (IHM). Such excess could be reduced by means of a factor correction calculated as the ratio between the means, that is, 0.98.

Table 5 Descriptive statistics of the variables considered in Functions 1-10 for dry *os coxae* (Yoldi et al. [18])

Variable	Male					Female				
	N	Mean	Min	Max	SD	N	Mean	Min	Max	SD
IHM ^a	46	209.21	193.55	232.65	10.26	50	193.29	179.86	210.90	7.73
IB	46	160.18	145.59	180.42	9.26	50	155.79	145.08	170.82	6.08
GSNB	46	51.56	40.08	64.89	5.30	50	53.29	44.44	72.64	5.09
VAD	46	54.11	48.50	63.22	2.96	50	47.51	42.76	52.84	2.16

N, number of cases; Min/Max, minimum and maximum values; SD, standard deviation

^a Considering a factor correction of 0.98

The assessment of the accuracy of the 10 selected discriminant function equations using the set of dry innominate data and the percentages of correct assignment are shown in Tables 6 and 7.

Table 6 Percentages of correct sex classification after tested on *os coxae* remains data

Function #	LI		OCR		p-Value
	N	%	N	% ^a	
Function 1	150	89.3	96	83.3	0.242

Function 2	150	90.0	96	94.8	0.270
Function 3	150	90.7	96	89.6	0.814
Function 4	150	90.7	96	86.5	0.412
Function 5	150	92.7	96	89.6	0.542
Function 6	150	90.7	96	92.7	0.745
Function 7	150	92.0	96	88.5	0.494
Function 8	150	94.0	96	91.7	0.655
Function 9	150	94.7	96	93.8	1.000
Function 10	150	95.3	96	95.8	1.000

LI: Classification by using measurements on patients' virtual models; *N* = sample size

%: Accuracy percentages; ^a Observed accuracies on dry bones

OCR: Classification by data recorded on *os coxae* remains; p-Value = Yates' p-value.

Table 7 Percentages of correct sex classification after tests on *os coxae* remains data for male and female groups

Function #	Male					Female				
	LI		OCR			LI		OCR		
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	% ^a	p-Value	<i>N</i>	%	<i>N</i>	% ^a	p-Value
Function 1	75	88.0	46	82.6	0.429	75	90.7	50	84.0	0.276
Function 2	75	88.0	46	95.7	0.203	75	92.0	50	94.0	0.740
Function 3	75	92.0	46	93.5	1.000	75	90.7	50	86.0	0.564
Function 4	75	92.0	46	82.0	0.147	75	89.3	50	90.0	1.000
Function 5	75	90.7	46	91.3	1.000	75	94.7	50	88.0	0.197
Function 6	75	89.3	46	93.5	0.740	75	92.0	50	92.0	1.000
Function 7	75	93.3	46	87.0	0.330	75	90.7	50	90.0	1.000
Function 8	75	92.0	46	95.7	0.709	75	96.0	50	88.0	0.154
Function 9	75	94.7	46	95.7	1.000	75	94.7	50	92.0	0.712
Function 10	75	94.7	46	97.8	0.648	75	96.0	50	94.0	0.683

LI: Classification by using measurements on patients' virtual models; *N* = sample size

%: Accuracy percentages; ^a Observed accuracies on dry bones; OCR: Classification by data recorded on *os coxae* remains; p-

Value = Fisher's exact test p-Value.

Discussion

The positive identification of the sex from skeletal remains is one of the main challenges in Forensic Anthropology. Being widely recognized as the most sexually dimorphic anatomical region of the human body, the pelvis has been used with most frequency for that purpose. Due to genetic and environmental factors that influence particular characteristics in each population, forensic anthropologists are continually attempting to test the existing and to develop novel patterns which could provide optimal results in the assessment of the sex ([e.g. 4-8]). In order to support this aim, we have validated the accuracy of standard linear distance measurements of the *os coxae* on medical scans of living Spanish population and obtained a number of specific formulae that could be highly successful for estimating sex from both virtual and real bone material.

In that sense, two databases were examined: one, comprising 3D CT reconstructed models of living adult individuals, and the other with the measurements taken from dry innominate of documented modern Spanish population [18]. A sample from the first database was employed to develop the discriminant models, whereas the holdout sample was considered to validate their repeatability when applied to skeletal remains.

Our results derived from computerized measurements showed that intra- and inter-observer correlations were moderate in general and substantial in a few cases, attesting that the accuracy and reproducibility of the technique were in accordance with acceptable standards [45, 46]. With regard to descriptive statistics (Table 3), none of the variables considered showed significant differences between the measurements taken on the left and right side. The same observation was also documented in [3, 4, 18].

In our findings, consistent in general terms with those obtained in above cited Mediterranean populations, the average male values clearly exceeded those achieved for females, except for the greater sciatic notch breadth (GSNB). The greatest differences between the sexes were found in innominate height (IHM). Since IHM reflects the overall size of the body, it is generally higher in men than in women. For Steyn and İşcan [3] and Yoldi et al. [18], this variable scored significantly higher than in this study, which, in turn, was congruent with Vacca and Di Vella's observation regarding this dimension [4]. In addition, Decker et al. [39] reported IHM to be the most important feature in sex assessment of Americans and assured that its highly dimorphic value could be established with the presence of only one innominate.

Although in previous studies on Spanish population [17-20] GSN presented higher female means than male (in our study too), the differences were not significant (except in our work). For Greek and Mexican populations [3, 5], for example, GSN dimensions did not seem to contribute much to distinguish between the sexes. Furthermore, neither was GSNB accurate as a single predictor in our nor in other studies on Spanish reference collections [17-20], but we developed discriminant functions based on 2, 3 and 4 variables including this one and obtained correct attribution range between 90.7% and 94.7%. The fact that the dimensions of GSN depend on the absolute size (robusticity) of each particular population and that are directly related to the height, Patriquin et al. [49] affirmed by finding the greater sciatic notch posterior width to be the second most consistent indicator of sex of South African whites and blacks. *Os coxae* breadth (IBM), symphysis pubis width (SPW) and pubic length (PL) were not dimorphic at all. Their low discriminant efficiency was also observed in [4, 18, 20]. However, for Patriquin et al. [49] the pubic length is one of the most reliable indicators of sex for South African whites and blacks.

Even though the absolute values of SPW and SPH were higher in males, these two dimensions were very difficult to measure accurately from 3D images (see [16] and therein). According to Bookstein's typology [23] based on the amount of information necessary to identify or relocate the landmark, SPH and SPW belong to Type III landmarks. These are defined as extremes of curvature and having at least one deficient coordinate, their placement depends on the placement of one or more other landmarks (or semi landmarks). Consequently, the visualisation of the studied area can

be affected and the subsequent error introduced. These assertions are supported by our measurements - that is to say, the concordance correlation coefficient obtained for SPH and SPW fell below 0.95, indicating the strength of agreement that Lin and McBride [45, 46] described as moderate.

Regarding acetabular measurements, no significant differences were found between the equations which included vertical (VAD) and horizontal diameter (HAD), so that in this section we refer to them with a common name: acetabular diameter (AD).

Only the variables and the combination of those that correctly classified more than 85% of the individuals were considered. These models led us to obtain a sex bias less than 5% that support their forensic applicability. Some of the discriminant functions were calculated using measurements from different localizations (e.g. ileo-ischio and ileo-pubic area) in order to identify optimal models for estimating sex and the strength of the applicability of the equations, especially in cases where *os coxae* is fragmented or in poor condition.

Ten formulas for sex assessment were developed from the data set derived from clinical patients with correct attribution range varied between 89.3% - 95.3% (89.3% to 94.7% after cross-validation) and the associated sex-bias for each function less than 5% (Table 4). This result fell within the range of those documented in several other studies on *os coxae* from various geographical origins, for example, Greek - 94.8% [16], South African blacks and whites - 94.5% [16], Spanish - 95.71% [17, 18] (see also [4, 19, 20]), Mexican - 99% [5], the Terry Collection and the Coimbra Collection - 90%-98.5%[21]). Moreover, our posterior probability values indicate that the confidence of correct sex assignment is high (0.88-0.96).

As single predictor, acetabular diameter (AD) yielded the highest score (90.0%), followed by innominate height (IHM), which correctly classified 89.3% of the sample. Such accuracy rates are comparable with those achieved in some of above cited traditional morphometric studies on dry innominate (84%-92.5%), which involved these two variables (e.g. [4, 16-18, 21]). The strong predictive power of AD is associated simply with robusticity [3, 19, 20] and the forces acting over it [18 and therein], which could be explained by the fact that it was the first variable selected in the stepwise analysis [3].

When AD and IHM were combined in groups based on 2, 3 or 4 variables, the prediction accuracy increased up to 95.3% (94.7% after cross-validations). As for the iliac breadth (IB), it was shown to be less sexually dimorphic when studied in isolation [4, 18, 20], which was also supported by our results. Nevertheless, Yoldi et al. [18] obtained sexual assessment values very close to ours (calculated at 90%) for some discriminant equations involving iliac breadth.

Our overall classification accuracy also fell in the range of prediction success of a number of studies that validated the morphometric assessment of the innominate from 3D CT- scans (e.g. 89.1% accuracy among Japanese [40] and 100% among Americans [39], when applying four-variable formula). A possible limitation of the latter model is that a complete intact pelvis is needed, which is rather difficult to obtain in anthropological setting, unlike all our findings that were achieved from single *os coxae*.

Finally, the validation test confirmed the discriminant power of the models developed from CT-reconstructed data when applied to a holdout contemporary Spanish [reference](#) sample [18] comprising dry bones (Tables 6 and 7). The outcome showed that all formulas could be considered highly representative for sex classification from dry *os coxae*. Although there were no significant differences in prediction accuracies between the functions acquired in CT- scans and those obtained in dry innominate, seven of them (1, 3, 4, 5, 7, 8, 9) from the current study presented a slight improvement. Functions 2, 9 and 10 achieved the highest allocation accuracy (94.7%, 93.8% and 95.8%, respectively).

In summary, the Spanish population is very dimorphic as far as innominate features are concerned. Furthermore, computed tomography scans are a useful tool for compiling metric data which can yield highly accurate and statistically robust classification of sex comparable to (in some cases better than) those achieved when the traditional linear measurements are carried out on real bone material. We hopefully believe that claims for generating population-specific standards conducted to optimize results in sex estimation could be favoured by the findings obtained in our study.

Conclusion

This research indicates four important points: (i) the *os coxae* is a suitable skeletal element for sex estimation in the modern adult Spanish population; (ii) metric analysis of the 3D-reconstructed live bone with the use of DA is a highly accurate method for sex assessment of known individuals ; (iii) with only a few measurements it is possible to develop models that could be effective also for estimating sex using incomplete or poorly conserved innominate; and (iv), the observed congruence of the results from the current study with those previously achieved with traditional metric approach pointed out that the patterns elaborated for the Spanish population could be applied within the Mediterranean group.

Further studies based on documented collections of CT- scans of living individuals should be accomplished in order to explore, verify and expand the number of anatomically relevant features whose effective combination would provide novel and reliable patterns also useful when applied to skeletal remains in archaeological contexts and in forensics.

Acknowledgements

We greatly acknowledge Castilla-La Mancha Health Care Service (SESCAM), Spain, for providing TC- scans as well as Dr. Alberto Yoldi for his personal metric database conceded for this study. We also appreciate constructive suggestions provided by anonymous reviewers which helped us to improve and clarify the manuscript.

REFERENCES

1. Krogman, WM, Iscan, MY (1986) *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Charles C. Thomas, Springfield, IL
2. Genovés ST (1959) *Diferencias sexuales en el hueso coxal*. Universidad Nacional Autónoma de México (Ed.), Instituto de Historia, Dirección General de Publicaciones
3. Steyn M, İşcan MY (2008) Metric sex determination from the pelvis in modern Greeks. *Forensic Sci Int* 179:86.e1–86.e6
4. Vacca E, Di Vella G (2012) Metric characterization of the human coxal bone on a recent Italian sample and multivariate discriminant analysis to determine sex. *Forensic Sci Int* 222(1-3):401.e1–401.e9
5. Gómez-Valdés JA, Ramírez GT, Báez Molgado S, Herrera Sain-Leu P, Castrejón Caballero JL, Sánchez-Mejorada G (2011) Discriminant function analysis for sex assessment in pelvic girdle bones: sample from the contemporary Mexican population. *J Forensic Sci* 56(2):297–301
6. González PN, Bernal V, Pérez SI (2009) Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. *Forensic Sci Int* 189:68–74
7. Bilfeld MF, Dedouit F, Rousseau H, Sans N, Braga J, Rougé D, Telmon N (2012) Human coxal bone sexual dimorphism and Multislice Computed Tomography: geometric morphometric analysis of 65 adults. *J Forensic Sci* 57 (3):578–588
8. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A (2012) The application of traditional and geometric morphometric analyses for forensic quantification of sexual dimorphism: preliminary investigations in a Western Australian population. *Int J Legal Med* 126:549–558
9. Iscan MY and Derrick K (1984) Determination of sex from the sacroiliac joint: a visual assessment technique. *Florida Sci* 47:94–98
10. Rogers T, Saunders S (1994) Accuracy of sex determination using morphological traits of the human pelvis. *J Forensic Sci* 39(4):1047–1056
11. Ubelaker DH, Volk CG (2002) A test of the Phenice method for the estimation of sex. *J Forensic Sci* 47(1):19–24
12. Bruzek J (2002) A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117(2):157–168
13. Phenice TW (1969) A newly developed visual method of sexing the os pubis. *Am J Phys Anthropol* 30(2):297–302
14. Walker PL (2005) Greater sciatic notch morphology: Sex, age and population differences. *Am J Phys Anthropol* 127(4):385–391
15. Murail P, Bruzek J, Houët F, Cunha E (2005) DSP: A tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bull Mém Soc Anthropol Paris* 17(3-4):167–176
16. Steyn M, Patriquin ML (2009) Osteometric sex determination from the pelvis - does population specificity matter? *Forensic Sci Int* 191(1-3):113.e1–113.e5
17. Yoldi Chaure A, Botella López MC (1999) Sex determining discriminant functions from the os coxae in a Mediterranean population of known sex. *Arch Esp Morfol* 4:73–94
18. Yoldi A, Alemán I, Botella MC (2001) Funciones discriminantes del sexo a partir del ilion en una población mediterránea de sexo conocido. *Rev Esp Antrop Biol* 22:23–38

19. Rissech C, Malgosa A (1997) Sex prediction by discriminant function with central portion measures of innominate bones. *Homo* 48: 22-32.
20. Rissech C, Malgosa A (1991) Importancia relativa de la longitud del pubis y la anchura del ilion en el estudio del dimorfismo sexual de los coxales. *Bol Soc Esp Antrop Biol* 12: 29-43
21. Albanese J (2003) A metric method for sex determination using the hip bone and the femur. *J Forensic Sci* 48(2):263-273
22. Bytheway JA, Ross AH (2010) A geometric morphometric approach to sex determination of the human adult os coxa. *J Forensic Sci* 55(4):859-864
23. Bookstein FL (1991) *Morphometric tools for landmark data. Geometry and Biology*. Cambridge University Press, Cambridge
24. Bookstein FL (1997) Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group for differences in outline shape. *Med Image Anal* 1(3):225-243
25. Gunz P, Mitteroecker P, Bookstein FL (2004) Semilandmarks in three dimensions. In: Slice DE (ed) *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 73-98
26. Kranioti EF, Nathena D, Michalodimitrakis M (2011) Sex estimation of the Cretan humerus: a digital radiometric study. *Int J Legal Med* 125:659-667
27. Benazzi S, Maestri C, Parisini S, Vecchi F, Gruppioni G (2008) Sex assessment from the acetabular rim by means of image analysis. *Forensic Sci Int*. 180: 58.e1-58.e3
28. Macaluso PJ (2011) Sex discrimination from the glenoid cavity in black South Africans: morphometric analyses of digital photographs. *Int J Legal Med* 125:773-778
29. Von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM (2007) The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods and modifications. *Am J Phys Anthropol* 134:24-35
30. White TD, Folkens PA (2000) *Human osteology*, 2nd ed. Academic Press, San Diego
31. Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M, Dirnhofer R, Thali MJ (2006) Maximum intensity projection of cranial Computed Tomography data for dental identification. *Int J Legal Med* 120(3):165-167
32. Dedout F, Telmon N, Costagliola R, Otal P, Florence LL, Joffre F, Rouge D (2007) New identification possibilities with post-mortem multislice computed tomography. *Int J Legal Med* 121:507-510
33. Ramsthaler F, Kettner M, Gehl A, Verhoff MA (2010) Digital forensic osteology: morphological sexing of skeletal remains using volume-rendered cranial CT-scans. *Forensic Sci Int* 195:148-152
34. Uthman AT, Al-Rawi NH, Al-Timimi JF (2012) Evaluation of foramen magnum in gender determination using helical CT scanning. *Dentomaxillofac Radiol* 41(3):197-202
35. Ruiz Mediavilla E, Perea Pérez B, Labajo González E, Sánchez Sánchez JA, Santiago Sáez A, Dorado Fernández D (2012) Determining sex by bone volume from 3D images: discriminating analysis of the tali and radii in a contemporary Spanish reference collection. *Int J Legal Med* 126(4):623-631
36. Abd-elaleem SA, Ahmed EA, Ewis AA (2012) Estimation of sex of Egyptian population by 3D Computerized Tomography of the pars petrosa ossis temporalis. *Egyptian J Forensic Sci* 2 (1):29-32
37. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A, Marks MK, Hart R, Oxnard C, O'Higgins P (2013) Concordance of traditional osteometric and volume-rendered MSCT interlandmark cranial measurements. *Int J Legal Med* 127:505-520
38. Verhoff MA, Ramsthaler F, Krahahn J, Deml U, Gille RJ, Grabherr S, Thali MJ, Kreutz K (2008) Digital forensic osteology—possibilities in cooperation with the Virtopsy® project. *Forensic Sci Int* 174:152-156
39. Decker SJ, Davy-Jow SL, Ford JM, Hilbelink DR (2011) Virtual determination of sex: metric and nonmetric traits of the adult pelvis from 3D Computed Tomography models. *J Forensic Sci* 56(5):1107-1114

40. Biwasaka H, Aoki Y, Sato K, Tanijiri T, Fujita S, Yoshioka K, Tomabechi M (2012) Analysis of sexual dimorphism of reconstructed pelvic computed tomography images of contemporary Japanese using curvature of the greater sciatic notch, pubic arch and greater pelvis. *Forensic Sci Int* 219(1-3):228.e1-8
41. Chiba F, Makino Y, Motomura A, Inokuchi, Torimitsu S, Ishii N, Sakuma N, Nagasawa S, Saitoh H, Yajima D, Hayakawa M, Odo Y, Suzuki Y, Iwase H (2013) Age estimation by multidetector CT images of the sagittal suture. *Int J Legal Med* 127: 1005–1011
42. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A (2010) Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med* 124(2):149–54
43. Martin R, Knußmann R (1988) *Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik*. Gustav Fischer (Ed.), Stuttgart, Nueva York
44. Schulter-Ellis FP, Hayek LC, Schmidt DJ (1985) Determination of sex with a discriminant analysis of new pelvic bone measurements: Part II. *J Forensic Sci* 30(1):178-85
45. Lin L (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45(1):255–268
46. McBride GB (2005) A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. NIWA Client Report: HAM2005-062
47. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A (2013) Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 229: 158.e1-158.e8
48. Tabachnick BG, Fidell LS (2007) *Using Multivariate Statistics*, 5th ed. Allyn & Bacon, Boston
49. Patriquin ML, Steyn M, Loth SR (2002) Metric assessment of race from the pelvis in South Africans. *Forensic Sci Int* (127) 104-113

Figure
[Click here to download high resolution image](#)

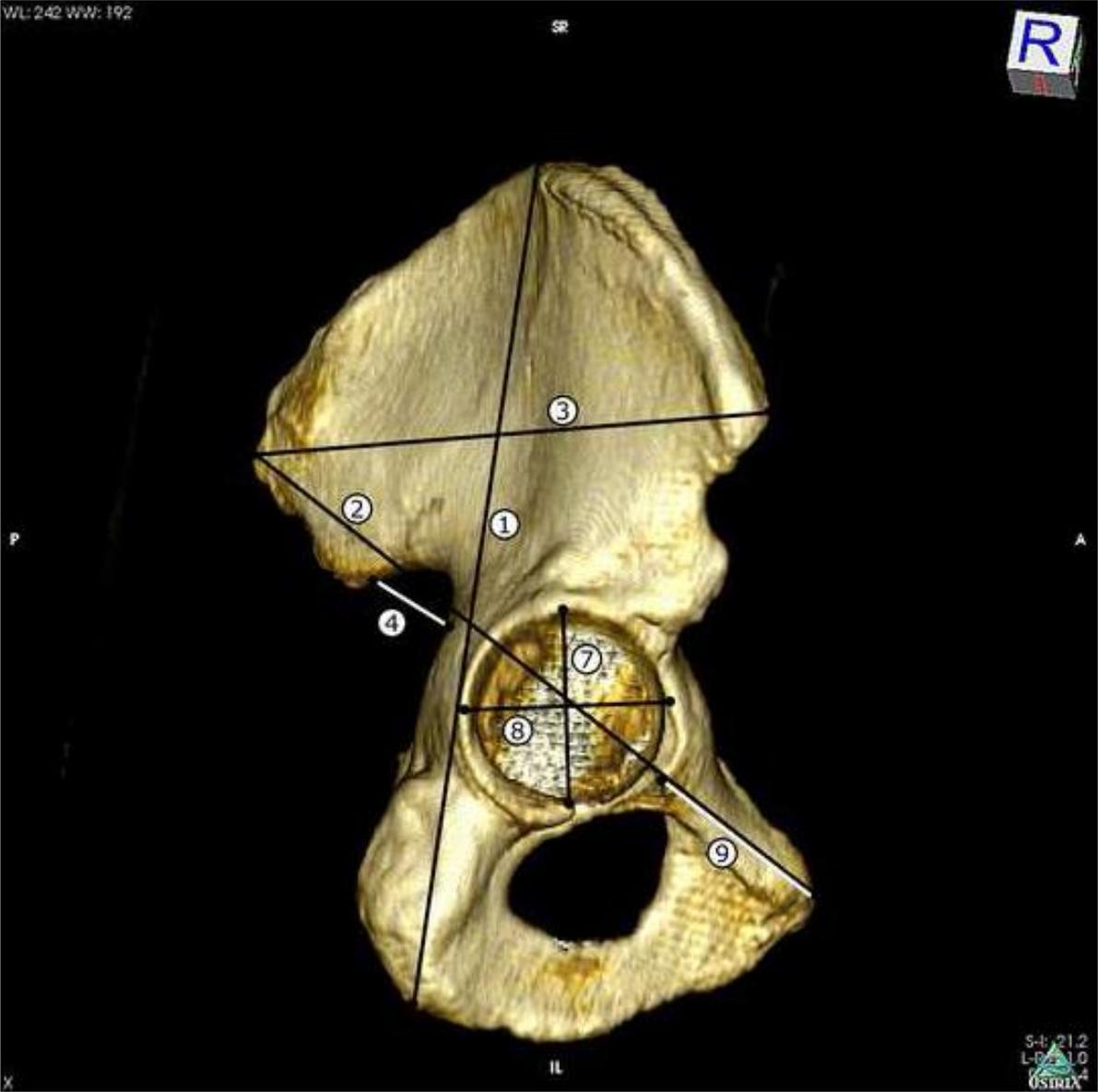


Figure
[Click here to download high resolution image](#)



5.5. ARTÍCULO 2 (VERSIÓN ACEPTADA)

**ESTIMACIÓN DEL MÉTODO DE TRIÁNGULO DE PURKAIT Y DE LOS
MODELOS ALTERNATIVOS PARA LA PREDICCIÓN DEL SEXO A
PARTIR DEL FÉMUR PROXIMAL EN LA POBLACIÓN ESPAÑOLA**

5.6. Resumen

El presente estudio se realizó para comprobar la reproducibilidad del método del triángulo de Purkait y la validez de algunas propuestas alternativas para la predicción del sexo a partir del fémur proximal en la población adulta de España. Para este propósito, se evaluó el dimorfismo sexual del diámetro máximo de la cabeza y el diámetro mínimo del cuello femoral. El estudio se realizó en 186 fémures (109 hombres y 77 mujeres) procedentes de la colección osteológica de individuos identificados San José. Se llevó a cabo el análisis de funciones discriminantes (DFA) empleando el procedimiento *jackknife* para la validación cruzada. En total, más del 94% de los individuos de ambos sexos fueron clasificados correctamente. La variable individual más dimórfica del método de triángulo era la distancia intertrocanterica que alcanzó el 85.5% de precisión, quedando por debajo de aquellas obtenidas para la cabeza del fémur y el diámetro del cuello femoral, respectivamente (89.8% y 91.9%). Combinando la distancia intertrocanterica con la del diámetro del cuello, la capacidad predictiva aumentó a 92.5%; cuando se añadió el diámetro de la cabeza femoral a las dos previas, el porcentaje de clasificación llegó a 94.6% (94.1% después de la validación cruzada). Podemos concluir que los resultados del método de Purkait se quedaron muy por debajo de los obtenidos con los modelos propuestos en el presente estudio. Éstos demostraron su mayor fiabilidad, tanto en modelos univariados como multivariados.

5.7 LICENCIA DE LA EDITORIAL SPRINGER PARA EL USO DEL ARTÍCULO PARA PROPÓSITOS ACADÉMICOS

5/6/2018

RightsLink Printable License

**SPRINGER NATURE LICENSE
TERMS AND CONDITIONS**

Jun 05, 2018

This Agreement between Faculty of Medicine -- Mirjana Djorojevic ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4362470543571
License date	Jun 05, 2018
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	International Journal of Legal Medicine
Licensed Content Title	Estimation of Purkait's triangle method and alternative models for sex assessment from the proximal femur in the Spanish population
Licensed Content Author	Mirjana Djorojevic, Concepción Roldán, Miguel Botella et al
Licensed Content Date	Jan 1, 2015
Licensed Content Volume	130
Licensed Content Issue	1
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	full article/chapter
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	<501
Author of this Springer Nature content	yes
Title	DETERMINACIÓN DEL SEXO MEDIANTE UN ESTUDIO DE LA PELVIS Y EL FÉMUR PROXIMAL A PARTIR DE RESTOS ÓSEOS E IMÁGENES EN 3D
Instructor name	Inmaculada Alemán & Concepción Roldán
Institution name	University of Granada, Faculty of Medicine
Expected presentation date	Jul 2018
Requestor Location	Faculty of Medicine Investigación Av. 16 Granada, Spain 18016 Spain Attn: Mirjana Djorojevic
Billing Type	Invoice
Billing Address	Faculty of Medicine Investigación Av. 16 Granada, Spain 18016 Attn: Mirjana Djorojevic
Total	0.00 EUR
Terms and Conditions	

Springer Nature Terms and Conditions for RightsLink Permissions

Springer Customer Service Centre GmbH (the Licensor) hereby grants you a non-exclusive, world-wide licence to reproduce the material and for the purpose and requirements specified in the attached copy of your order form, and for no other use, subject to the conditions below:

1. The Licensor warrants that it has, to the best of its knowledge, the rights to license reuse of this material. However, you should ensure that the material you are requesting is original to the Licensor and does not carry the copyright of another entity (as credited in the published version).

If the credit line on any part of the material you have requested indicates that it was reprinted or adapted with permission from another source, then you should also seek permission from that source to reuse the material.

2. Where **print only** permission has been granted for a fee, separate permission must be obtained for any additional electronic re-use.
3. Permission granted **free of charge** for material in print is also usually granted for any electronic version of that work, provided that the material is incidental to your work as a whole and that the electronic version is essentially equivalent to, or substitutes for, the print version.
4. A licence for 'post on a website' is valid for 12 months from the licence date. This licence does not cover use of full text articles on websites.
5. Where '**reuse in a dissertation/thesis**' has been selected the following terms apply: Print rights for up to 100 copies, electronic rights for use only on a personal website or institutional repository as defined by the Sherpa guideline (www.sherpa.ac.uk/romeo/).
6. Permission granted for books and journals is granted for the lifetime of the first edition and does not apply to second and subsequent editions (except where the first edition permission was granted free of charge or for signatories to the STM Permissions Guidelines <http://www.stm-assoc.org/copyright-legal-affairs/permissions/permissions-guidelines/>), and does not apply for editions in other languages unless additional translation rights have been granted separately in the licence.
7. Rights for additional components such as custom editions and derivatives require additional permission and may be subject to an additional fee. Please apply to Journalpermissions@springernature.com/bookpermissions@springernature.com for these rights.
8. The Licensor's permission must be acknowledged next to the licensed material in print. In electronic form, this acknowledgement must be visible at the same time as the figures/tables/illustrations or abstract, and must be hyperlinked to the journal/book's homepage. Our required acknowledgement format is in the Appendix below.
9. Use of the material for incidental promotional use, minor editing privileges (this does not include cropping, adapting, omitting material or any other changes that affect the meaning, intention or moral rights of the author) and copies for the disabled are permitted under this licence.
10. Minor adaptations of single figures (changes of format, colour and style) do not require the Licensor's approval. However, the adaptation should be credited as shown in Appendix below.

Appendix — Acknowledgements:

For Journal Content:

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

For Advance Online Publication papers:

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION

5/6/2018

RightsLink Printable License

(Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM].)

For Adaptations/Translations:

Adapted/Translated by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

Note: For any republication from the British Journal of Cancer, the following credit line style applies:

Reprinted/adapted/translated by permission from [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: : [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

For Advance Online Publication papers:

Reprinted by permission from The [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM].)]

For Book content:

Reprinted/adapted by permission from [the Licensor]: [Book Publisher (e.g. Palgrave Macmillan, Springer etc)] [Book Title] by [Book author(s)] [COPYRIGHT] (year of publication)

Other Conditions:

Version 1.0

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Manuscript

[Click here to download Manuscript: manuscript Apr 16.docx](#)

[Click here to view linked References](#)

ESTIMATION OF PURKAIT'S TRIANGLE METHOD AND ALTERNATIVE MODELS FOR SEX ASSESSMENT FROM THE PROXIMAL FEMUR IN THE SPANISH POPULATION

Mirjana Djorojevic^{*§} · Concepción Roldán · Miguel Botella, Inmaculada Alemán

Abstract

The current study was undertaken to test the validity and reproducibility of the Purkait triangle method, and some alternative proposals for sex prediction from the proximal femur in the adult population of Spain. To that end, sexual dimorphism of the maximum femoral head diameter and the minimum femoral neck diameter were also evaluated. The study was conducted on 186 femora (109 males and 77 females) taken from the San José collection of identified individuals (Southern Spain). Discriminant function analyses (DFA) employing the jackknife procedure for cross-validations were considered. Overall, more than 94% of individuals of both sexes were correctly classified. The most dimorphic single variable from the triangle method was the intertrochanteric apices distance (BC) that reached 85.5% accuracy, falling below those obtained for femoral head and femoral neck diameter respectively (89.8% and 91.9%). Combining BC with the neck diameter, the predictive ability increased to 92.5%; when femoral head diameter was added to the latter two, the classification success rate improved furthermore up to 94.6% (94.1% after cross-validation). We conclude that the classification success rates of the Purkait's method remained considerably below any of those obtained with the models proposed in the present study which proved to be much better and more reliable choice both as single predictors and in combination with other variables.

Keywords Femur, Proximal end, Sex estimation, Discriminant functions, Forensic Science

Introduction

The highly accurate reliability of the pelvis to provide information about the sex of adult individuals has been widely recognized [e.g. 1, 2, 3]. Nevertheless, being often unavailable or insufficiently preserved to yield relevant set of data for assessing the sex, there is an imperative need to accomplish the positive identification from other skeletal elements, preferable long bones [4, 5]. Due to its robustness and density, the femur is the anatomical area less susceptible to damage and better preserved than other long bones, especially the proximal end [6]. Consequently, a number of authors have evaluated sexual dimorphism in

M. Djorojevic (✉) · I. Alemán · M. Botella
Department of Legal Medicine, Toxicology and Physical Anthropology,
C. Roldán
Department of Biostatistics, Faculty of Medicine, University of Granada,
11 Madrid Av., Granada 18012, Spain
e-mail: mdjorojevic@ugr.es

[§]This paper is part of a principal author's PhD Thesis.

this part of the femur using, among others, triangle methods [7, 8]; the others, in turn, have re-examined the reproducibility of the proposed techniques [9, 10] or have addressed various aspects of the proximal end anatomy such as the femoral head diameter (FHD) or femoral neck diameter (FND) in several different populations as cited below.

Using the method based on the triangle identified on the posterior proximal femur Purkait [7] achieved 87.5% accuracy for the central Indian population, which is somewhat below the findings obtained by the same author in another study [2] where the FHD alone could correctly assign sex to 93.5% individuals. Testing the technique on the North American population, Brown et al. [9] achieved a result very close to that of Purkait (86.5%); while the reported accuracy for FHD as a single predictor was very similar to the classification success rate of the estimated triangle (87%), it remained a little below the result obtained for the Indian FHD. The recent validation of the Purkait method for estimating sex in Greeks [10] has demonstrated an overall low correct classification rate (78.3%), for which reason the authors of the research called for caution if this technique is applied to explore skeletal material from Greece.

By means of an alternative triangle also identified on the upper extremity of the posterior surface of the femur, Albanese and colleagues [8] developed a new method for assessment of sex from the size and angle of the femoral neck when only the proximal extremity is available. This approach, with remarkably high allocation accuracy (95%), is especially indicated for archaeological or forensic cases with little or no context. In addition, it is even more efficient when applied to an independent sample and, as the authors assured, it is not population-specific.

Regarding the two parameters mentioned above and also concerned in the current study namely FHD and FND, **prolific** related literature alleged that the measurements of the proximal epiphysis performed greater accuracy over other features of the femur in **a variety** of populations studied worldwide: e.g. Central Indian [2]; Egyptian [4]; South African Whites [5]; Greek [10]; Croatian [11]; Thai - [12]; Bosnian [13]; German [14], north-eastern Chinese [15], Spanish [16-18] **north-west Indian** ethnicities [19] as well as American Blacks and Whites [22]. On the contrary, Steyn et al. considered the distal end of femur to have better predictive ability compared to the proximal epiphysis among South African whites [5]. Studying a French sample Alunni-Perret et al. found epicondylar breadth to be the single most accurate measurement for sex estimation, ahead even of FHD [20]. Moreover, working on the Malay adult population Hussain et al. remarked that the Asian population has a smaller distal femoral size than Western populations due to the comparatively smaller build and stature [21 and therein]. Furthermore, the latter authors stated that significant differences were also observed between the different ethnicities within the Asian population, e.g. Malaya, Chinese and Indian. All these findings highlight the evidence of inter- and intra- population variability in size and proportions and imply the need for developing specific and non-transferrable standards for skeletal identification which, if applied to other population, could affect the osteometric assessment of sex.

Because of its highly dimorphic nature, good preservation and lack of evidence of changes that manifests with age, the femoral neck diameter (FND) is considered to be a useful alternative to multivariate techniques for fragmentary or poorly preserved forensic samples. Using this parameter, specific metric

standards have been obtained for several different ethnic groups such as Egyptians [4]; Euro- American and African-American from the Hamann-Todd collection [22-23] and Guatemalans [24], among others.

The main goals of the current study are to test the Purkait method on a San José sample and to establish, if appropriate, specific standards for the Spanish population. Additionally, we aim to ascertain the potential and the extent of FHD and FND efficacy in distinguishing between the sexes as univariate and multivariate models, as well as to compare them with those provided by Purkait.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

A total of 186 adult *femora* (109 female and 77 male) derived from the Granada municipal cemetery were selected by random sampling from the San José identified skeletal collection housed in the Laboratory of Anthropology at the University of Granada, Spain. The mean age for men was 63.41 years (standard deviation =16.40); and 71.04 years for women (standard deviation = 14.61). Information on year of birth, sex, age at death and cause of death was also available in most cases (170). The great majority of the individuals examined in our sample were born between 1900 and 1930 and had died between 1970 and 2000 as can be seen in Tables 2 and 3 and Figures 2 and 3 respectively. The skeletons are in a good state of preservation, which can be ascribed to the relatively recent character of the collection and the climate conditions in Granada. Specimens with femoral prostheses, cortical bone deterioration, severe degenerative changes or neck fractures were discarded from the study.

2.2. Methods

Measurements on the proximal femur

Five dimensions were taken using digimatic caliper (Mitutoyo, Japan; 0.01mm), which was reset between each measurement. The triangle variables were measured according to the standard osteometric technique as defined by Purkait [7]. For FHD and FND, we followed Bass and Allumi-Perret et al.'s descriptions [25-26], respectively. Specimens without signs of pathology that could have affected the accuracy of the measurements were selected for the analysis. Each bone was measured twice by the same anthropologist. A subset of 37 *femora* from the original sample was measured twice by the first and once by the second observer. Measurement error was assessed for every dimension according to the method developed by Lin [27]. All the results were achieved in millimetres (mm) and recorded to within two decimal places. Afterwards, the dimensions, alone and in combination, were subjected to stepwise DFA using SPSS v.20 (IBM, Somers, NY) to determine the most distinctive univariate predictor or the optimal combination that could provide the greatest separation of the sexes from fragmentary remains.

Fig. 1: Left: The triangle at the proximal posterior aspect of the femur defined by Purkait; Right: The two additionally observed dimensions: maximum diameter of the femoral head (FHD) and femoral neck at the minimum diameter in a supero-inferior direction (FND)

Fig. 2: Distribution by dates of birth

Fig. 3: Distribution by dates of death

Statistical Analyses

We previously checked inter- and intra-observer agreement based on the 37 randomly selected femurs (approximately 20% of the cases). Lin's concordance coefficient [27-28] was then calculated to estimate inter- and intra-observer errors for each metric variable. In order to test the femur symmetry, the mean value of each right measurement was compared with the left side one using a paired sample *t*-test. No statistically significant differences were observed between them at 0.05 level so that only one bone, either the left or the right, had been included in the analysis.

Normality was evaluated using Kolmogorov-Smirnov tests. Descriptive statistics were obtained for each of the variables (for the male and female groups) and Student's *t*-test was performed to assess sexual dimorphism for each of the measured parameters (taking into account the results of the F-test which evaluates equality of variances).

Firstly, our sample was classified using Purkait's discriminant functions. Next, stepwise DFA was performed to elaborate a set of equations that, applied to the Spanish population, would distinguish between males and females. That is, stepwise linear DA using the default F values (each variable was moved into the model in successive steps, F to enter = 3.84, F to remove = 2.71) was considered. We also applied jackknife procedure for cross-validations.

With regard to the statistical multivariate techniques considered in this paper, they can be found in wide variety of scientific literature (see e.g. [29]).

3. Results

Lin's concordance correlation coefficients for evaluation of intra- and inter-observer agreement demonstrated that the values obtained were in the range of 0.95-0.99, indicating a low level of error and reliable resulted measurements [27]. Kolmogorov-Smirnov test asserted that the distribution of all variables was normal.

3.1. Descriptive statistics

Table 4 presents the mean and the standard deviation for each measurement in both sexes. The mean values of the male measurements were higher than those of the females in all cases. The results of Student's *t*-test are also reported in Table 4 demonstrating highly significant differences between the sexes.

3.2. Discriminant analyses

Firstly we classified a San José sample using Purkait's discriminant functions [7]. The results are listed in Table 5. All the functions, except the first one, presented very large biases that could limit their applicability in the Spanish population. For this reason, it was necessary to develop specific criteria for the Spanish sample.

Formulas were accomplished for a number of combinations of measurements which can be used to estimate sex on fragmentary remains.

DFA was then conducted using our own sample. Wilk's Lambda statistics, which measure how well each function separates cases into groups, were calculated (smaller values indicate greater discriminatory ability). The coefficients of the functions, Wilk's Lambda and the accuracy percentages for males and females are displayed in Table 6. The sectioning points are not listed in this table because they were all set to zero making the corresponding calculations. This means that if the sum of products of each variable multiplied by its nonstandardized coefficient and added to the constant is greater than zero, the individual is classified as male; otherwise as female.

Table 6 depicts the five variables as single predictors and the combination of those which have fewer attribution errors and better separate the two groups, thus excluding the redundant functions. Furthermore, it exhibits thirteen discriminant function equations, five univariate (1 to 5), four bivariate (6 to 9) and the remaining multivariate (10 to 13). The percentage of correct assignment ranges from 76.9% to 94.6% (76.9% to 94.1% after cross-validation). Other variables such as angles defined by AB, AC and BC, the total sides of the triangles, the area of the triangle and ratios between the variables have also been considered showing that none was found to be significant for sex assessment (therefore related data and results are not included in the study). The most accurate single parameters were FND and FHD with 91.9% and 89.8% of correct classification after cross-validation, respectively. From the five univariate functions, threshold values could be obtained. For example, the threshold value for length BC is 58.13 mm (obtained by the following ratio $\text{Constant/Coefficient} = 13.96587/0.24025$). This means that values less than 58.13 mm for length BC will indicate a female bone. The threshold values for FHD and FND are 42.82 mm and 30.20 mm, respectively.

3. Discussion

The descriptive statistics demonstrated that none of the variables considered attested significant differences between the measurements obtained on the left and right side. Purkait and Brown et al. have also documented the same observation for the Indian and North American sample [7, 9]. The average male values clearly exceeded those achieved for females because male bones are generally longer and more robust due to more pronounced areas of muscular attachments [2, 6, 22, 32]. Concerning the metric analysis of the Purkait's triangle dimensions in our sample, the greatest separation of the sexes was observed in the variable BC which, as defined, joins the greater and lesser trochanter apices. Taking into account that points B and C are placed in the area of muscle attachments and upper body weight transmission, the anatomy of the region is undoubtedly affected in terms of size and shape, a fact that will subsequently have an effect on the resulting measurement accuracy [7 and therein]. That is what makes proximal dimensions better indicators of sex in comparison with other parameters of the femur, besides the additional advantage that they can be taken from fragmented bone in case when the shaft and distal end are not recovered.

Most of the revised studies dealing with proximal *femora* emphasized a high percentage of correctly assessed individuals that the variables located in this part of the femur can yield as single predictors e.g. FHD and FND [2, 4, 11-13]. The level of intact preservation (much higher in FN than in FH) and the stability of measurements enabled by apparent absence of aging effect on femoral neck can also benefit

the resulting accuracy rate. It is of particular importance in extremely fragmented samples, as observed in Caucasians and American Blacks [22 and therein, 23]. These appraisals were both valid for the current Spanish sample and the formerly examined individuals of Guatemalan [24], French [26] and South African origin [32] that is to say: there were no associated pathologies evident in the femoral neck at the point of the measurements which could impinge on the resulting accuracy unlike the other features observed on the proximal epiphysis. For this reason the two new variables sited on this area were included in the present study.

The comparison of our findings with those previously obtained for central Indians, American Whites and Blacks and Greeks by means of the proximal triangle [7, 9-10], demonstrated inter-population variability which led us to develop eleven specific discriminant standards for subject of Spanish origin.

Regarding Purkait's measurements, the inter-trochanteric apices distance (BC) was the most distinctive measurement of the triangle that with 85.5% accuracy resulted equal or very similar to what Brown et al. and Purkait found (85.5% and 84.3%), respectively [7, 9]. Our lengths AB and AC were less sexually dimorphic (below 80%), a fact which was also observed by the latter authors. With two triangle dimensions, e.g. BC+AC or AC+AB, the achieved classification rate that dropped below 86% was also in the range reported for the Indians and North Americans [7, 9]. The combination of all three lengths of the triangle reached 86.6% accuracy (86% after cross-validation). These rates fell within the range of those documented in the two above cited papers (86.4% - 86.5%). Conversely, all the results of the research that has recently been conducted on the Greek sample to test the triangle technique [10] remained somewhat below both our paper and the two aforementioned studies (78.3%), attesting a low reproducibility of the Purkait's method on the Greek individuals. The authors of the research called for caution if this approach is to be used for sex prediction of Greeks.

With respect to the new variables introduced into our study, it was the femoral neck diameter (FND) that provided the highest percentage of correct classification (91.9%) when used singly. This score was in consonance with those already acquired, e.g. for Egyptians - 91.2% [4]; Caucasians and African-Americans - 90% [22]; Guatemalans - 89.5% [24]. As the second best predictor, the maximum femoral head diameter (FHD) correctly classified 89.8% individuals. Such accuracy rate is consistent with those discussed by Brown et al. [9] and Mali et al. [14] that is 87% and 89.6%, respectively. It is obvious that with the additionally introduced dimensions (FHD and FND), the prediction success rate for the Spanish population was remarkably improved. **Using these two variables in a bivariate model, the classification success rate (90.9%) does not improve with regard to univariate functions. For this reason it has not been included in Table 6.** When we combined the most dimorphic triangle measurement (BC) with the femoral head diameter (FHD) the accuracy of the function had a marked increase (92.5%).

Finally, using BC, FHD and FND in a three variable discriminant function, the prediction accuracy rose to 94.6% (94.1% after cross-validations). The same score was obtained in the two four-group functions, when all the triangle measurements were combined with FND or FHD (functions 12 and 13), respectively. In spite of the same predictive success rate acquired for both, when assessing sex from the

proximal femur the advantage should always be given to FND equation, instead of FHD one for all the reasons stated above.

4. Conclusion

The results achieved in the current study place the emphasis on the following points: (i) The proximal end of the femur is a suitable skeletal region for sex estimation in **the adult population of Spain**; (ii); We have developed specific standards that can be used for assessing the sex from preserved fragments, employing two variables (FND and FHD) that have not been considered in combination with Purkait's triangle dimensions previously; (iii) **FND and FHD exceed remarkably the accuracy of any of Purkait's variables, providing much better and more reliable models both as single predictors and in combination with other variables; moreover, in contrast to the Purkait's data acquisition, our measurements are relatively easy to take and less time-consuming**; and, (iv) Despite similar accuracy rates FHD and FND provide, we recommend, whenever possible, using FND, preferably **in sex prediction from the proximal femoral epiphysis** owing to the high preservation rate and lack of aging process changes which could affect the accuracy of the measurements, as observed in our sample and asserted by the authors **already cited in this work**.

Acknowledgments We would like to express our gratitude to Mr. José Antonio Muñoz, Managing Director; Mrs. Maribel Martín, coordinator of services; and all EMUCESA staff at the San José cemetery in Granada for providing facilities that enable the storage and posterior study of the collection.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest in regard to this work.

References

1. Krogman WM, Iscan MY (1986) *The human skeleton in forensic medicine*. Charles C. Thomas, Springfield
2. Purkait R, Chandra H (2004) A study of sexual variation in Indian femur, *Forensic Sci Int* 146: 25–33
3. Djorojevic M, Roldán C, García-Parra P, Alemán I, Botella M (2014) Morphometric sex estimation from 3D computed tomography os coxae model and its validation in skeletal remains. *Int J Legal M* 128(5):879–888
4. Mostafa EM, El-Ellemi AH, El-Beblawy MA, Dawood, A EW A (2012) Adult sex identification using digital radiographs of the proximal epiphysis of the femur at Suez Canal University Hospital in Ismailia, Egypt. *Egypt J Forensic Sci*, 2(3):81–88. doi:10.1016/j.ejfs.2012.03.001
5. Steyn M, İşcan MY (1997) Sex determination from the femur and tibia in South African whites. *Forensic Sci Int* 90(1):111–119
6. Kranioti EF, Vorniotakis N, Galiatsou C, İşcan MY, Michalodimitrakis M (2009) Sex identification and software development using digital femoral head radiographs. *Forensic Sci Int* 189(1):113–e1
7. Purkait R (2005) Triangle identified at the proximal end of femur: a new sex determinant. *Forensic Sci int* 147(2):135–139
8. Albanese J (2003) A metric method for sex determination using the hipbone and the femur. *J Forensic Sci* 48(2):263–273

9. Brown RP, Ubelaker DH, Schanfield MS (2007) Evaluation of Purkait's Triangle Method for Determining Sexual Dimorphism. *J Forensic Sci* 52(3):553–556
10. Anastopoulou I, Eliopoulos C, Valakos ED, Manolis, SK (2014) Application of Purkait's triangle method on a skeletal population from southern Europe. *Forensic Sci Int* 245C:203–e1-203.e4. doi: 10.1016/j.forsciint.2014.10.005
11. Šlaus M, Strinovic D, Skavic J, Petrovecki V (2003) Discriminant function sexing of fragmentary and complete femora: standards for contemporary Croatia. *J Forensic Sci* 48(3): 509–512
12. King CA, Iscan MY, Loth SR (1998) Metric and comparative analysis of sexual dimorphism in the Thai femur. *J Forensic Sci* 43:954–958
13. Sarajlic N, Ljeljak-Rozajac L, Stancic A (2012) Sex determination of the Bosnian population based on discriminant function analysis. *HealthMED J* 6(2):694–698
http://www.healthmed.ba/pdf/HealthMED_6_2_stampa.pdf. Accessed 20 December 2014
14. Mall G, Graw M, Gehring KD, Hubig M (2000) Determination of sex from femora. *Forensic Sci Int* 113(1):315–321
15. Wu L (1989) Sex determination of Chinese femur by discriminant function. *J Forensic Sci* 34(5):1222–1227
16. Alemán Aguilera I, Botella López MC, Ruiz Rodríguez L (1997) **Determinación del sexo en el esqueleto postcraneal. Estudio de una población mediterránea actual.** *Archivo Español de Morfología* 2:69–79
17. Trancho GJ, Robledo B, López-Bueis I, Sánchez A (1997) Sexual determination of femur using discriminant function analysis of a Spanish population of known sex and age. *J Forensic Sci* 42:181–185
18. Clavero A, Salicrú M, Turbón D (2015) Sex prediction from the femur and hip bone using a sample of CT images from a Spanish population. *Int J Legal Med* 129(2):373–383. doi: 10.1007/s00414-014-1069-y
19. Soni G, Dhall U, Chhabra S (2010) Determination of sex from femur: discriminant analysis. *J Anat Soc India* 59(2): 216–221
20. Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G (2008) Sex determination from the distal part of the femur in a French contemporary population. *Forensic Sci Int*, 175(2):113–117
21. Hussain F, Abdul Kadir MR, Zulkify AH, Sa'at A, Aziz AA, Hossain MG, Syahrom A (2013) Anthropometric measurements of the human distal femur: a study of the adult Malay population. *BioMed research international*. doi:10.1155/2013/175056
22. Seidemann RM, Stojanowski CM, Doran GH (1998) The use of the supero-inferior femoral neck diameter as a sex assessor. *Am J Phys Anthropol* 107:305–313
23. Stojanowski CM, Seidemann RM (1999) A re-evaluation of the sex prediction accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter for modern individuals. *J Forensic Sci* 44(6):1215–8
24. Frutos, LR (2003) Brief communication: Sex determination accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter in a contemporary rural Guatemalan population. *Am J Phys Anthropol* 122(2):123–126
25. Bass WM (1987) *Human osteology: a laboratory and field manual* (No. 2). Missouri Archaeological Society
26. Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G (2003) Re-examination of a measurement for sexual determination using the suproinferior femoral neck diameter in a modern European population. *J Forensic Sci* 48(3):517–520
27. Lin L (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45(1):255–268
28. McBride GB (2005) A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. NIWA Client Report: HAM2005–062

9. Brown RP, Ubelaker DH, Schanfield MS (2007) Evaluation of Purkait's Triangle Method for Determining Sexual Dimorphism. *J Forensic Sci* 52(3):553–556
10. Anastopoulou I, Eliopoulos C, Valakos ED, Manolis SK (2014) Application of Purkait's triangle method on a skeletal population from southern Europe. *Forensic Sci Int* 245C:203–e1-203.e4. doi: 10.1016/j.forsciint.2014.10.005
11. Šlaus M, Strinovic D, Skavic J, Petrovecki V (2003) Discriminant function sexing of fragmentary and complete femora: standards for contemporary Croatia. *J Forensic Sci* 48(3): 509–512
12. King CA, Iscan MY, Loth SR (1998) Metric and comparative analysis of sexual dimorphism in the Thai femur. *J Forensic Sci* 43:954–958
13. Sarajlic N, Ljeljak-Rozajac L, Stancic A (2012) Sex determination of the Bosnian population based on discriminant function analysis. *HealthMED J* 6(2):694–698
http://www.healthmed.ba/pdf/HealthMED_6_2_stampa.pdf. Accessed 20 December 2014
14. Mall G, Graw M, Gehring KD, Hubig M (2000) Determination of sex from femora. *Forensic Sci Int* 113(1):315–321
15. Wu L (1989) Sex determination of Chinese femur by discriminant function. *J Forensic Sci* 34(5):1222–1227
16. Alemán Aguilera I, Botella López MC, Ruiz Rodríguez L (1997) Determinación del sexo en el esqueleto postcraneal. Estudio de una población mediterránea actual. *Archivo Español de Morfología* 2:69–79
17. Trancho GJ, Robledo B, López-Bueis I, Sánchez A (1997) Sexual determination of femur using discriminant function analysis of a Spanish population of known sex and age. *J Forensic Sci* 42:181–185
18. Clavero A, Salicrú M, Turbón D (2015) Sex prediction from the femur and hip bone using a sample of CT images from a Spanish population. *Int J Legal Med* 129(2):373–383. doi: 10.1007/s00414-014-1069-y
19. Soni G, Dhali U, Chhabra S (2010) Determination of sex from femur: discriminant analysis. *J Anat Soc India* 59(2): 216–221
20. Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G (2008) Sex determination from the distal part of the femur in a French contemporary population. *Forensic Sci Int*, 175(2):113–117
21. Hussain F, Abdul Kadir MR, Zulkifly AH, Sa'at A, Aziz AA, Hossain MG, Syahrom A (2013) Anthropometric measurements of the human distal femur: a study of the adult Malay population. *BioMed research international*. doi:10.1155/2013/175056
22. Seidemann RM, Stojanowski CM, Doran GH (1998) The use of the supero-inferior femoral neck diameter as a sex assessor. *Am J Phys Anthropol* 107:305–313
23. Stojanowski CM, Seidemann RM (1999) A re-evaluation of the sex prediction accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter for modern individuals. *J Forensic Sci* 44(6):1215–8
24. Frutos, LR (2003) Brief communication: Sex determination accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter in a contemporary rural Guatemalan population. *Am J Phys Anthropol* 122(2):123–126
25. Bass WM (1987) *Human osteology. a laboratory and field manual* (No. 2). Missouri Archaeological Society
26. Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G (2003) Re-examination of a measurement for sexual determination using the suproinferior femoral neck diameter in a modern European population. *J Forensic Sci* 48(3):517–520
27. Lin L (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45(1):255–268
28. McBride GB (2005) A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. NIWA Client Report: HAM2005–062

29. Tabachnick BG, Fidell LS (2007) *Using multivariate statistics*, 5th edn. Allyn & Bacon, Boston
30. Asala SA (2001) Sex determination from the head of the femur of South African whites and blacks, *Forensic Sci Int* 117:15–22

Figure 1
[Click here to download Figure: Figure 1.jpg](#)

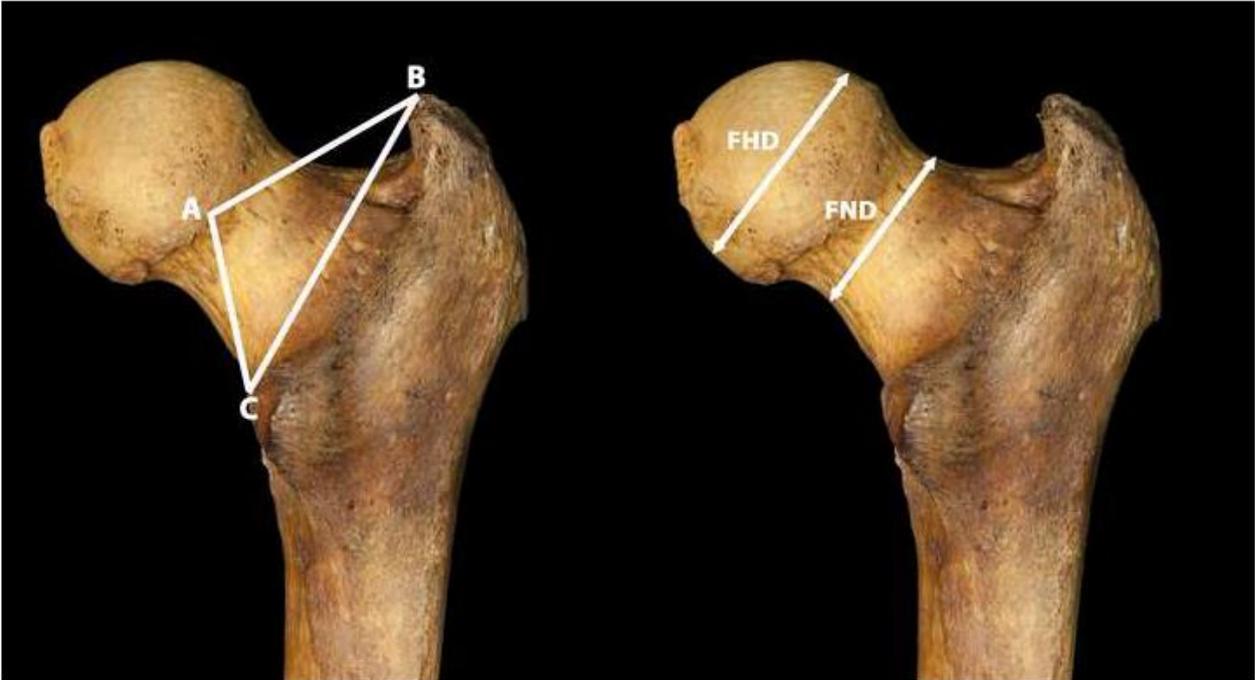


Figure 2

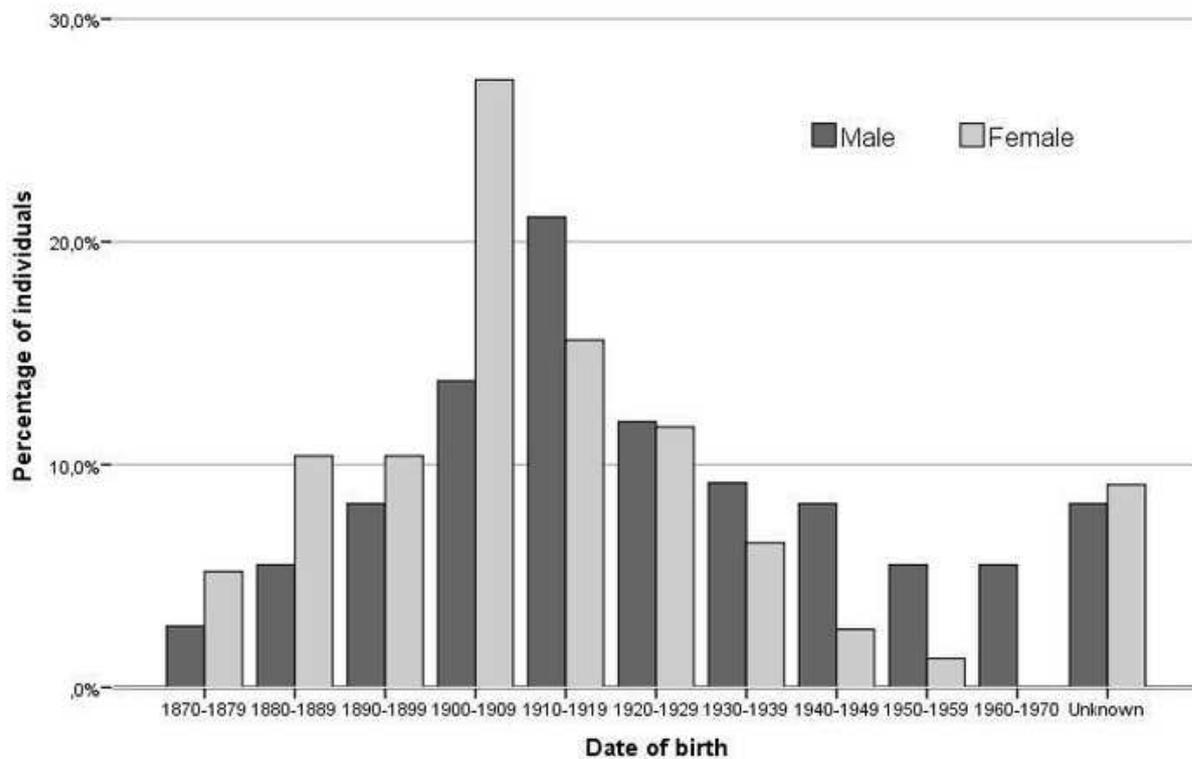
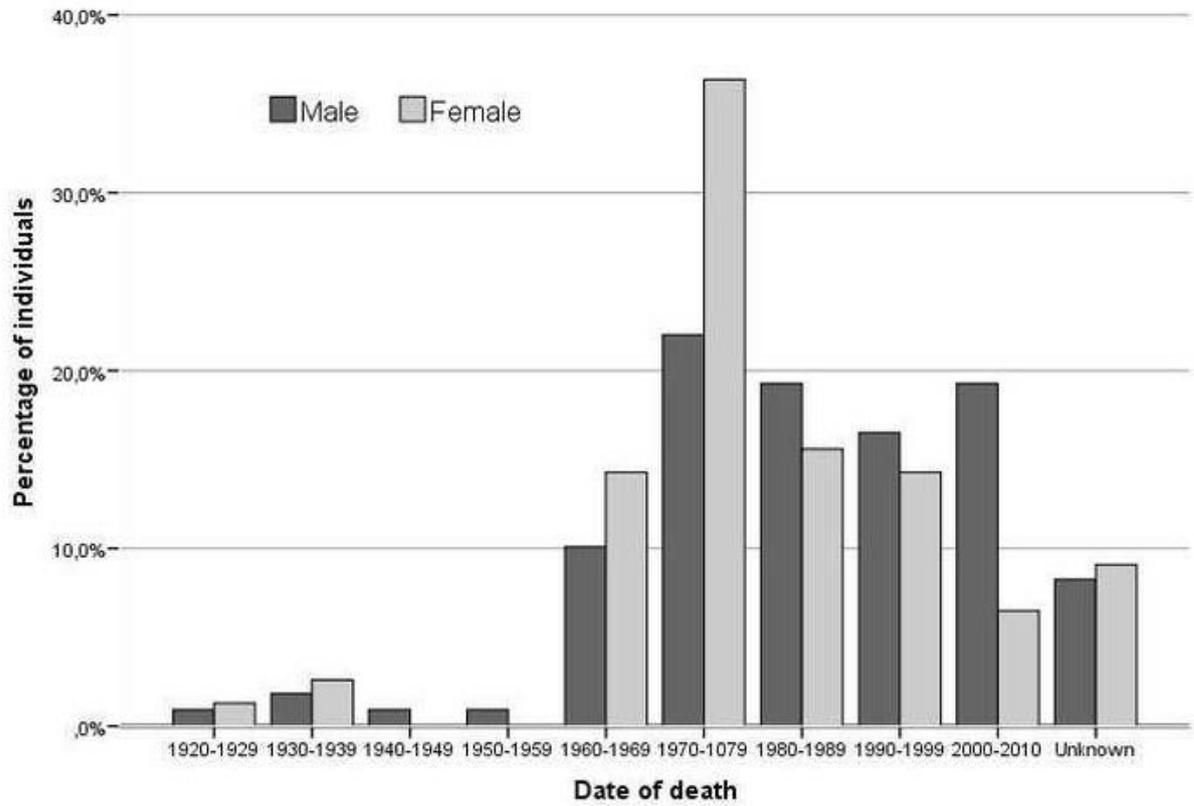
[Click here to download Figure: Figure2.jpg](#)

Figure 3
[Click here to download Figure: Figure3.jpg](#)



Table

Table 1 Description of the measurements on the proximal femur

Variables	DESCRIPTION	Source
1 Length AB	The straight distance between the point on the articular margin of head dipping most laterally (A) and the point projecting most medially on the greater trochanter (B).	[7]
2 Length AC	The straight distance between the point on the articular margin of head dipping most laterally (A) and the point projecting most medially on the highest point on the lesser trochanter (C).	[7]
3 Length BC	The straight distance between the point projecting most medially on the greater trochanter (B) and the highest point on the lesser trochanter (C).	[7]
4 FHD (Femoral head diameter, maximum)	Diameter taken at the margin of the articular surface, rotating the caliper to obtain the maximum distance.	[25]
5 FND (Supero-inferior femoral neck diameter, minimum)	The minimum diameter of the femoral neck taken in a supero-inferior direction across the narrowest part of the femoral neck.	[26]

Table 2 Distribution by year of birth

Age group	Male	Female	Total
1870 – 1879	3	4	7
1880 – 1889	6	8	14
1890 – 1899	9	8	17
1900 – 1909	15	21	36
1910 – 1919	23	12	35
1920 – 1929	13	9	22
1930 – 1939	10	5	15
1940 – 1949	9	2	11
1950 – 1959	6	1	7
1960 – 1970	6	0	6
Unknown	9	7	16
Total	109	77	186

Table 3 Distribution by year of death

Age group	Male	Female	Total
1920 – 1959	5	3	8
1960 – 1969	11	11	22
1970 – 1979	24	28	52
1980 – 1989	21	12	33
1990 – 1999	18	11	29
2000 – 2010	21	5	26
Unknown	9	7	16
Total	109	77	186

Table 4 Measures of central tendencies and comparisons of means

Variable	Male (109)		Female (77)		t	df	P-value
	Mean	SD	Mean	SD			
Length AB	34.4111	3.6933	29.7142	2.9670	9.247	184	0.000*
Length AC	49.1412	5.4259	42.7890	4.2269	8.593	184	0.000*
Length BC	61.6891	4.2533	54.5735	4.0297	11.483	184	0.000*
FND	32.4328	2.0966	27.9691	1.6883	15.469	184	0.000*
FHD	45.6770	2.6063	39.9664	2.0456	16.046	184	0.000*

SD, standard deviation; df, degrees of freedom; *All significant at P < 0.001 level

Table 5 Classification accuracy using Purkait's discriminant functions on San José sample

Measures	Male	Female	Sex bias	Total
Length AB	79.8%	79.2%	0.6%	79.6%
Length AC	79.8%	67.5%	12.3%	74.7%
Length BC	94.5%	59.7%	34.8%	80.1%
Lengths BC, AC	94.5%	57.1%	37.4%	79.0%
Lengths AC, AB	81.7%	75.3%	6.3%	79.0%
Lengths BC, AC, AB	89.0%	71.4%	17.6%	81.7%

Table 6 Discriminant functions, accuracy, cross-validation and posterior probabilities obtained from the San José collection sample

Function	Variable	Coef.	Wilks' Lambda	Accuracy				Cross-Validated ^a	Posterior Prob. Mean
				Male	Female	Total	Bias		
Function 1	AB	0.29307	0.683	74.3%	80.5%	76.9%	6.2%	76.9%	74.2%
	Constant	-9.39673							
Function 2	AC	0.20137	0.714	78.0%	80.5%	79.0%	2.5%	78.5%	73.3%
	Constant	-9.25618							
Function 3	BC	0.24025	0.583	85.3%	85.7%	85.5%	0.2%	85.5%	79.2%
	Constant	-13.96587							
Function 4	FHD	0.41908	0.415	89%	90.9%	89.8%	1.9%	89.8%	89.4%
	Constant	-17.94568							
Function 5	FND	0.51590	0.435	89.9%	94.8%	91.9%	4.9%	91.9%	87.6%
	Constant	-15.58038							
Function 6	AB	0.22170	0.518	80.7%	87.0%	83.3%	6.3%	83.3%	82.7%
	AC	0.14294							
	Constant	-13.67838							
Function 7	AB	0.15284	0.509	84.4%	87.0%	85.5%	2.6%	84.9%	82.9%
	BC	0.17787							
	Constant	-15.24017							
Function 8	AC	0.06551	0.562	82.6%	81.8%	82.3%	-0.8%	81.7%	80.4%
	BC	0.19204							
	Constant	-14.17470							
Function 9	BC	0.10917	0.384	91.7%	93.5%	92.5%	1.8%	92.5%	89.3%
	FND	0.39947							
	Constant	-18.41027							
Function 10	AB	0.16680	0.476	85.3%	88.3%	86.6%	3.0%	86.0%	84.5%
	AC	0.08309							
	BC	0.11340							
	Constant	-15.75916							
Function 11	BC	0.09750	0.345	94.5%	94.8%	94.6%	0.3%	94.1%	91.9%
	FND	0.17958							
	FHD	0.22578							
	Constant	-20.75396							
Function 12	AB	0.10162	0.351	94.5%	94.8%	94.6%	0.3%	94.1%	91.1%
	AC	0.05263							
	BC	0.05525							
	Constant	-19.29874							

	AB	0.09422							
	AC	0.04722							
Function 13	BC	0.06334	0.334	94.5%	94.8%	94.6%	0.3%	94.1%	92.63%
	FHD	0.29098							
	Constant	-21.33367							

Coefficients and constants are to construct the discriminant equations

* Jackknife leave-one- out method for cross validation is used

5.8. INDICIOS DE CALIDAD DE LA REVISTA EN LA QUE HA SIDO PUBLICADO EL 3^{er} ARTÍCULO

Para el 3^{er} Artículo:

Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I (2018) Sex assessment from the proximal femur in a Spanish population based on three-dimensional computed tomography metric analysis. <https://doi.org/10.2298/VSP170920031D>,

se escogió la revista **Vojnosanitetski pregled (Military-Medical & Pharmaceutical Review)** que publica trabajos científicos de todos los ámbitos de Medicina, Odontología y Farmacia y está indexada en *Journal Citation Reports*. El Artículo ha sido aceptado y su primera versión electrónica ha sido publicada en marzo de 2018 con el mismo formato en el cual se había sometido.

Journal Title:	VOJNOSANITETSKI PREGLED (MILITARY-MEDICAL & PHARMACEUTICAL REVIEW)
ISO Abbreviation Title:	Vojnosanit Pregl
ISSN:	0042-8450
Issue/year:	12
Language:	SERBIAN/ENGLISH
Journal Country/Territory:	SERBIA
Publisher:	MILITARY MEDICAL ACADEMY
Publisher Address:	17 CRNOTRAVSKA ST, BELGRADE11040
Category name:	LEGAL MEDICINE

Category Name	Total Journals in category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
Medicine, General & Internal - Scie	155	139	4

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year IF	Immediacy Index	Citable Items	Cited half-items	Citing half-life
Vojnosanit Pregl	0937-9827	537	0.367	0.382	0.046	174	4.6	9.6



5.9 ARTÍCULO 3 (VERSIÓN ACEPTADA)

**ESTIMACIÓN DEL SEXO A PARTIR DEL FÉMUR
PROXIMAL EN UNA POBLACIÓN ESPAÑOLA. EL
ANÁLISIS MÉTRICO DE LAS IMÁGENES 3D
OBTENIDAS POR TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA**

5.10. Resumen

Antecedentes / Objetivo. Los estudios publicados en los últimos años han demostrado que las mediciones lineales tomadas en imágenes clínicas de tomografía computarizada reconstruidas en 3D (3D-CT), del coxal, el cráneo o el esternón, pueden servir como una herramienta alternativa y fiable para estimar el sexo. A pesar de que el fémur proximal exhibió un alto grado de dimorfismo en los exámenes del material esquelético de diversas poblaciones, todavía hay escasez de estudios morfométricos que examinen datos osteométricos obtenidos en vivo de imágenes 3D del fémur, para comprobar su relevancia en la estimación del sexo. El presente estudio se realizó para validar la fiabilidad de algunas mediciones del fémur proximal obtenidas en sujetos vivos a partir de modelos 3D-CT y comparar su precisión con los anteriormente obtenidos en otras investigaciones relevantes. **Métodos.** Un total de 146 tomografías (73 hombres y 73 mujeres) fueron seleccionadas para tomar 6 mediciones usando el método osteométrico tradicional. Para este fin se utilizaron TAC con cortes de 1 mm y 1.25 mm de grosor. La reconstrucción 3D se realizó con el programa OsiriX (v.4.1). Se desarrollaron funciones discriminantes univariadas y multivariadas para la predicción del sexo. **Resultados.** Se demostró que el diámetro vertical del cuello y el diámetro vertical de la cabeza del fémur, estudiados independientemente, contribuyeron de forma más significativa a la estimación del sexo (90.4% - 91.8%). Al combinarlos con otras dimensiones, el porcentaje de clasificación correcta aumentó hasta 97.3%. **Conclusión.** 3D-CT es una herramienta adecuada para la cuantificación objetiva de datos osteológicos obtenidos incluso de fémures fragmentados. Puede proporcionar modelos altamente fiables para estimar el sexo de la población española. Los resultados de las mediciones en 3D demostraron estar en consonancia con los obtenidos en los estudios morfométricos tradicionales en hueso seco. Se obtuvo un porcentaje notablemente superior de capacidad predictiva en comparación con la técnica 2D.

5.11 CERTIFICADO DE LA MILITARY-MEDICAL & PHARMACEUTICAL REVIEW EN EL QUE SE CONCEDE EL PERMISO DE USO DEL ARTÍCULO PARA PROPÓSITOS ACADÉMICOS



MILITARY MEDICAL AND
PHARMACEUTICAL JOURNAL OF SERBIA
MILITARY MEDICAL ACADEMY
Crnotravska 17, 11000 Belgrade, Serbia
Tel/fax: +381 11 2669689
vsp@vma.mod.gov.rs

CERTIFICATE

The journal **Vojnosanitetski Pregled (Military-Medical & Pharmaceutical Review)** allows authors to use their Article in Press Version (Accepted Version) in full or in part, for scholarly, non-commercial purposes, as in a thesis or dissertation. Although accepted manuscripts do not yet have all bibliographic details available, they can already be cited using the year of online publication and the DOI, as follows: article title, the author(s), publication (year), the DOI.

Belgrade, June 6th, 2018

Editor-in-Chief
Head of the Institute for
Scientific Information
Prof. Silva Dobrić, PhD.



Scanned by CamScanner



VOJNOSANITETSKI PREGLED

VOJNOMEDICINSKA AKADEMIJA

Crnotravska 17, 11 000 **Beograd, Srbija**

Tel/faks: +381 11 2669689

vsp@vma.mod.gov.rs

ACCEPTED MANUSCRIPT

Accepted manuscripts are the articles in press that have been peer reviewed and accepted for publication by the Editorial Board of the *Vojnosanitetski Pregled*. They have not yet been copy edited and/or formatted in the publication house style, and the text could still be changed before final publication.

Although accepted manuscripts do not yet have all bibliographic details available, they can already be cited using the year of online publication and the DOI, as follows: article title, the author(s), publication (year), the DOI.

Please cite this article: **SEX ASSESSMENT FROM THE PROXIMAL FEMUR IN A SPANISH POPULATION BASED ON THREE-DIMENSIONAL COMPUTED TOMOGRAPHY METRIC ANALYSIS**

PROCENA POLA METRIČKOM ANALIZOM TOMOGRAFSKIH TRODIMENZIONALNIH SNIMAKA PROKSIMALNOG FEMURA ŠPANSKE POPULACIJE

Authors: **Mirjana Djorojević^{*†} • Concepción Roldán^{*‡} • Miguel Botella^{*†} • Inmaculada Alemán^{*†}**; *Vojnosanitetski pregled* (2018); Online First March, 2018.

UDC:

DOI: <https://doi.org/10.2298/VSP170920031D>

When the final article is assigned to volumes/issues of the Journal, the Article in Press version will be removed and the final version appear in the associated published volumes/issues of the Journal. The date the article was made available online first will be carried over.

Sex assessment from the proximal femur in a Spanish population based on three-dimensional computed tomography metric analysis

Procena pola metričkom analizom tomografskih trodimenzionalnih snimaka proksimalnog femura španske populacije

Mirjana Djorojevic^{*†} • Concepción Roldán^{*‡} • Miguel Botella^{*†} • Inmaculada Alemán^{*†}

University of Granada, ^{*}Faculty of Medicine, [†]Department of Legal Medicine, Toxicology and Physical Anthropology, [‡]Department of Biostatistics Granada, Spain

Abstract

Background/Objective. The studies published in recent years have shown that linear measurements on three-dimensional computed tomography clinical images (3D-CT) of the hip bone, skull or breastbone can serve as a reliable alternative method for sex estimation. In spite of the fact that the proximal femur exhibited high dimorphism when examining the skeletal material, there is still lack of morphometric studies dealing with CT imaging of this anatomical region that would confirm the relevance of the previously obtained results. The present study was undertaken to validate the reliability and precision of some proximal femur measurements obtained in vivo from 3D-CT models and to compare the accuracies of our findings with those formerly reported by other relevant research. **Methods.** A total of 146 CT scans (73 male and 73 females) were selected to take 6 measurements using traditional osteometric methods. 3D reconstruction was done at 1mm and 1.25mm thick slices with OsiriX (v.4.1). Univariate and multivariate discriminant functions (DFs) were formulated for assessing sex. **Results.** Vertical diameter of the neck (VND) and vertical diameter of the head (VHD) were found to contribute most significantly considered independently (90.4%-91.8%). When combining these with the other dimensions, the prediction accuracy increased up to 97.3%. **Conclusion.** 3D-CT is a suitable tool for objective quantification of osteological data. Medical scans and measurements on living individuals offer a valuable source of data from which highly reliable skeletal standards can be developed for estimating sex, even from fragmented remains. The accuracy of CT

measurements is in conformance with those obtained in traditional morphometric studies on skeletonized femurs of contemporary populations. 3D-CT approach showed remarkably higher percentage of predictive ability in comparison with 2D technique. The method proposed here can be highly useful especially in identification of mass disaster victims when direct osteometry is difficult to apply and maceration of the remains is not an option.

Key Words:

Proximal femoral epiphysis; 3D-CT; Sex assessment; Discriminant functions; Forensic Anthropology.

Apstrakt

Uvod/Cilj. Studije objavljene poslednjih godina pokazale su da linearna merenja na trodimenzionalnim tomografskim snimcima (3D-CT) lobanje, karlične ili grudne kosti pacijenata mogu da posluže kao pouzdana alternativna metoda za procenu pola. Uprkos tome što je proksimalni okrajak butne kosti pokazao visok dimorfizam prilikom analize skeletnog materijala, još uvek je nedovoljno morfometrijskih studija 3D snimaka ove anatomske regije koje bi potvrdile relevantnost prethodno dobijenih rezultata. **Metode.** 146 tomografskih snimaka pacijenata (73 muskarca i 73 zene) odabrani su za 6 merenja uz primenu tradicionalnih osteometrijskih metoda. 3D rekonstrukcija urađena je posredstvom softvera Oziriks (verzija 4.1) na slajsovima debljine 1 mm i 1.25 mm. **Rezultati.** Ustanovljeno je da su vertikalni prečnik vrata (VND) i vertikalni prečnik glave femura (VHD), analizirani pojedinačno, dali najbolje rezultate u utvrđivanju pola (90.4%-91.8%). U kombinaciji sa ostalim dimenzijama, njihova preciznost porasla je na 97.3%. **Zaključak.** CT je prikladna tehnika za objektivnu kvantifikaciju osteoloških podataka. Klinički snimci i in vivo merenja pružaju validan izvor podataka pogodan za izradu pouzdanih standarda za procenu pola, čak i iz fragmentiranih ostataka. Preciznost CT merenja u korelaciji je sa merenjima dobijenim u tradicionalnim morfometrijskim studijama kostiju femura modernih populacija. U poredjenju sa dvodimenzionalnom, znatno viši procenat preciznosti u određivanju pola postignut je korišćenjem trodimenzionalne tehnike. Metod koji se ovde predlaže može da bude od izuzetne koristi u identifikaciji žrtava masovnih katastrofa kada maceracija ostataka i direktna osteometrijska merenja ne mogu biti opcija.

Ključne reči:

Gornji okrajak butne kosti; 3D-CT; određivanje pola; diskriminantne funkcije; forenzička antropologija.

PAPER ACCEPTED

Introduction

The assessment of suitability of poorly preserved or fragmented skeletal remains as the only source of data available for sex diagnosis is a task that forensic anthropologists frequently deal with. Due to its robustness and density, the femur is the anatomical area less susceptible to damage and better preserved than other long bones. When the shaft or distal end is missing, the proximal femoral epiphysis can be highly useful in fragmentary forensic contexts. Being an important insertion area of muscles and upper body weight transmission, the upper extremity is undoubtedly affected in terms of size and shape, which could subsequently have effect on its dimorphic potential¹⁻².

A review of published literature showed that the proximal femur had been largely examined to estimate the efficacy in sex assessment. For this purpose, some researchers have identified triangle on the posterior aspect³⁻⁴, while others have focused on different features of the proximal epiphysis⁵⁻⁶. In the cited studies, the metric data were recorded on the modern cadaveric *femora* following traditional morphometric techniques. They were subjected a posteriori to univariate and multivariate discriminant function analyses (DFA).

As for the single dimensions, vertical diameter of the femoral head (VHD) and vertical diameter of the femoral neck (VND) were those that proved to assign most correctly males and females in a variety of population e.g. Spanish, Guatemalan and Thai⁷⁻⁹. However, all scholars agreed on the important fact that the percentages of correct classifications vary considerably both within the same and among different ethnicities as a consequence of specific genetic, environmental, socio-cultural and secular changes that proximal femoral epiphysis undergoes over time¹⁰. So, the existent methods are constantly being re-examined and novel techniques accomplished in order to establish more reliable standards for the estimation of sex.

With regard to use of image-processing techniques for the prediction of sex from the proximal femur, the published literature primarily explored how the classical osteometric measurements performed when employed on digital radiographs¹¹⁻¹³, and secondly, they compared the level of accuracy obtained directly on dry skeletal material with the standard digital images measures precision of the same dry element¹⁴. All these goals were carried out to validate the relevancy of some morphometric parameters in forensic examinations as well as to provide population-specific patterns for sexing proximal femoral epiphysis.

In recent years, computed tomography (CT) has proved to be a suitable tool for estimation of sex (e.g. *tali* and *radii, os coxae* and *sternum*), providing reliable and precise results comparable to those obtained by traditional morphometrics¹⁵⁻¹⁷. However, the number of studies that have made use of clinically relevant CT database to quantify sex differences in the proximal femur and develop accurate standards for that purpose is still low in current literature¹⁸⁻¹⁹.

Therefore, the main goals of this study are: i) to examine how accurately proximal epiphysis of the femur predicts sex in a sample of adult living population of Spain employing data derived from CT scans and traditional osteometry; ii) to explore and validate some discriminant functions obtained from skeletal remains in sex assessment using the medical-imaging-dataset iii) to formulate new discriminant functions based on the same sample; and, iv) to compare classification success rates achieved in several ethnicities for the same dimensions by means of the same or different approaches.

Methods

This study was performed on a randomly selected sample consisting of a total of 146 CT clinical scans (73 male and 73 female subjects) aged between 17 and 84 years (male mean age was 62.63 ± 14.86 and 56.44 ± 13.09 for female) who were referred to abdominal-pelvic, abdominal and thoracoabdominal CT scanning between 2009 and 2011. The material examined was conceded to the Laboratory of Physical Anthropology of the University of Granada by Castilla-La Mancha Health Care Service (SESCAM). Subjects with history of femoral pathology or surgery were excluded from the study. To describe anthropometric measurement error and assess side differences a random sample comprising 30 specimens (approximately 20% of the cases) were measured twice by the first anthropologists in different days and it was also analysed by the second examiner. This sample confirmed the symmetry and then, for the rest of the sample, only one side was measured.

Some DFs built in our recent study⁴ from a data set of 186 adults femurs (109 female and 77 male), derived from the San José identified skeletal collection housed in the

Laboratory of Anthropology at the University of Granada, Spain, were employed to validate their efficacy on the sample obtained from the medical imaging data.

In compliance with Spanish Law (Article 16, Law 41/2002; see also ²⁰), the patients' data were anonymized at the source before receiving by the anthropologists, with only the sex and the age information retained. CT scans we used for this study were saved in DICOM files. Post processing was performed with OsiriX (v.4.1 32 bit) for Mac OS X (10.7.2.). 3D reconstruction was done based on 1mm and 1.25mm thick slices and six linear measurements were obtained in anterior and posterior views of surface rendering images (resolution 512x512 pixels).

Following standard anthropometric techniques and literature (see below), the observers located referent points of the variable on the surface of 3D models by rotating the bone, so that the found starting and ending points best fitted to the described length. The distances and their respective values in centimetres were subsequently established by the same software.

The selected dimensions are illustrated in **Figure 1** and described as follows:

- *Greater-lesser intertrochanteric distance* (GLT): The intertrochanteric distance corresponds to the distance between the apex of the greater trochanter and the apex of the lesser trochanter ²¹.
- *Subtrochanteric transverse diameter* (STD): Measured at the upper third of the femur in the area of the maximum expansion of the bone inferior to the lesser trochanter ²².
- *Vertical diameter of the femoral neck* (VDN): Diameter of the femoral neck in a cranio caudal axis ²².
- *Vertical diameter of the femoral head* (VHD): Diameter of the femoral head in the cranio caudal axis ²².
- *Femoral neck length* (FNL): Distance between the base of the femoral head and the intertrochanteric line ²³.
- *Length STH*: The straight distance measured between the inferior point of the length STD and the superior point of the length VHD, respectfully. It is a distance devised by Kranioti et al. ¹⁴ and also used in a study on an Egyptian population ¹¹.

Statistical Analyses

Statistical analysis was performed with the software program SPSS v.24 (IBM, Somers, NY, USA). Descriptive statistics of the anatomic dimensions were obtained for each of the measurements. The normal distribution of data was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov test. To assess side differences, a paired *t*-test was applied and, to describe anthropometric measurement error, the technical error of measurement (TEM), the relative technical error of measurement (%TEM), and the coefficient of reliability (R) were calculated²⁴⁻²⁶. The comparison between mean values of both groups was performed using the *t*-test. Stepwise DFA was performed to formulate univariate and multivariate discriminant equations. A leave-one-out classification procedure was used to demonstrate the accuracy rate of the original sample and the one created by cross-validation. Posterior probabilities were computed for each model. P value of less than 0.05 was considered statistically significant. We previously determined the method to be acceptable when at least 85% of individuals were correctly classified, with sex-bias lower than 5%.

Results

The results of the measurement error for each variable are presented in Table 1. Intra-observer %TEM and R values range from 0.988% to 2.396% and from 0.950 to 0.988, respectively, while inter-observer %TEM and R vary between 1.160%–2.468% and 0.951–0.981, respectively. The symmetry was also confirmed by a paired *t*-test at a significant level of 0.05.

Table 2 presents the mean and the standard deviation by the sexes for each measurement. The average for males exceeds the average for females in all cases. Furthermore, the results of Student's *t*-test reported in the same Table demonstrate highly significant differences between the sexes.

Applying the discriminant functions (DFs) developed from San José sample of dry femora⁴ to the medical image sample data, the classification accuracies obtained range to 74.4% to 90.7%. The results are given in Table 3.

Table 4 presents the coefficients of the seventeen discriminant function equations, four univariate (1 to 4), six bivariate (5 to 10), six three-variate (11 to 16) and one using four variables which have fewer attribution errors and better separate the two groups. The

sectioning points are all zero (making the corresponding calculations). From univariate functions threshold values can be calculated as the absolute value of the constant divided by the coefficient of the variable (the slope model). In this study, the threshold value for STH is 87.91 mm; for GLT 57.90 mm; for VND 32.563 mm and for VHD 43.97 mm.

These classification rules developed can be considered an accurate and easy way to help differentiate sex. The use of the discriminant coefficients in Table 4 is as follows: i) multiply each measurement by the appropriate coefficient and add to the constant; ii) a value greater or equal than the sectioning point, zero (≥ 0) is classified as male, and a value less than zero (< 0) is classified as female. For example, using discriminant function 12, an adult with the following measurements:

$$\begin{aligned} DF_{12} &= 0.236VND + 0.196GLT + 0.181FNL - 24.271 \\ &= 0.236 * 34.9 + 0.196 * 71.2 + 0.181 * 31.8 - 24.271 = 3.676 > 0, \end{aligned}$$

is classified as *male*.

Wilk's Lambda values, which measure how well each function separates cases into groups, were calculated (smaller values indicate greater discriminatory ability of the function). Table 4 also presents accuracy percentages, cross-validated accuracy percentages and posterior probabilities for all of the DFs developed. The percentage of correct assignation ranges from 85.6% to 97.3% (85.3% to 97.3% after cross-validation).

Out of six variables analysed in the current paper, five coincided in several studies focused on sexing the proximal femur. Their classification accuracies are compared in Table 5.

Discussion

Computed tomography is increasingly proving its forensic relevancy in osteological sex assessment. This imaging technique facilitates easy, rapid, non-invasive and direct examination of unknown deceased individuals. This way, an extensive and time-consuming maceration procedure can be avoided. The acquisition of 3D volume rendered images enables detailed inspecting and visualizing of any osseous structures and consequently accurate virtual measurements. CT scan method can be a highly useful option in mass fatality incidents where the state of the recovered remains (fragmented, semi-fleshed, mummified, charred) does not allow the traditional forensic procedures to be carry out

correctly (e.g. manual data acquisition). Additionally, in the absence of suitable skeletal collections, MSCT scans can serve as reliable alternative source of contemporary data from which specific morphometric standards for the estimation of sex can be developed or validated.

In the present study we aimed to explore how accurately proximal epiphysis of the femur predicts sex in a sample of adult living population of Spain by applying traditional osteometry to data derived from 3D scans and to compare the accuracies of our findings with those formerly obtained in other relevant studies. To that end, several anthropometric measurement errors were calculated for the six variables selected for the study. According to Weinberg et al.²⁶, REM scores revealed very good inter- and intra- observer reproducibility. Following Ulijaszek et al.²⁴, we took into account a cut off value of 0.95, i.e. a measurement error of up to 5%, which leads us to consider R values greater than 0.95 to be sufficiently precise. The ranges obtained in Table 1 confirmed a high level of repeatability for all the dimensions considered, indicating that accurate osteometric measurements can be obtained from reconstructed 3D-CT image data and that this approach seems to be suitable and reliable for the assessment of the proximal femoral epiphysis.

Three models developed in our recent study on dry *femora*⁴ were validated on the sample of 3D image data. Two out of three functions show a possible applicability in sexing skeletal remains. The poor result that VND exhibited for the female group could have to do with secular changes that affected female VND, contrary to the male one which was not notably altered by this trend, as stated previously in the studies conducted on French, Caucasians and Afro-Americans, born prior to the turn of century as well as those born after 1910, respectively⁶⁻¹⁰. The authors of the cited studies assert that secular increases in female neck morphology have decreased the distance between the male and female distributions and consequently have led to a decrease in overall classification success accuracy rate. It is possible that our original skeletal sample⁴, tested on clinical data, has also been affected by the trend due to the fact that 39.78% of it comprised individuals born before 1909. (See Table 3, also 10). This analysis was carried out to ascertain whether the imaging-based models performed worse, better or were comparable to those previously formulated from the sample comprising skeletal remains. Due to the fact that the compatibility was established for the two functions, the forensic contexts will

determine which of them will be more appropriate to apply. Nevertheless, the formulae obtained from CT scans are supposed to be used when they show better predictive ability; if the dry bone standard for the determinate variable is not available; or, in the identification of mass disaster victims when traditional forensic methods cannot be a choice. In such circumstances, when a rapid and accurate sex assessment is a crucial factor, both forensic pathologists and forensic anthropologists who work closely in the identification of human remains can use CT scans. In case of degraded and contaminated DNA and severe soft tissue injuries, the identification tasks can be very complicated for forensic pathologist with CT inclusive. If the bone fragments are better preserved, the imaging technique will be in favour of the forensic anthropologist. After scanning recovered remains, 3D reconstruction and the elimination of the soft tissue will be provided by the imaging software. The measured data will undergo the multivariate statistical analysis. Then, the results of discriminant functions will be compared with the corresponding sectioning points established for each function (zero, in this case). The bones are classified as male or female based on whether the discriminant scores were higher or lower than the sectioning points. Finally, the formulae previously develop for the examined anatomical region would be applied to assess the sex of the deceased person.

The multivariate DFA to which our CT-scan data was subjected showed that the most accurate single parameters were VND and VHD with 90.4% and 91.8% of correct classification after cross-validation, respectively. Because of their high correlation, a model comprising both variables would not be as useful as other patterns achieved when any of these were combined with GLT and FNL. Although the latter performed more poorly as independent model, it gave noteworthy results in groups with GLT, VND and VHD, which was the main reason to include it in the finally selected ones. We emphasize that GLT and STH as single prediction models were less sexually dimorphic than the others obtained here (below 88%). However, they gave more accurate functions when joined together or combined with the other variables selected for the study. When these formed a group based on two, three and four variables (see Table 4) the prediction accuracy increased up to 97.3%.

Table 5 demonstrates the percentages of correctly classified individuals for five dimensions that the present survey and the studies on a variety of different ethnicities have

in common when different approaches for assessing the proximal femur are employed. We found that there is no significant difference for the Spanish population in the measurements taken by MSCT when compared with measurements of defleshed bones, except for VHD, which better assigned sexes on virtual models. On the other hand, our accuracy rates are generally in consonance with those obtained from the skeletal samples of the other populations. Furthermore, CT measurements provided remarkably higher percentage of correct classification with respect to those obtained from 2D digital radiographs both of living subject and skeletal remains. As Rubin et al.²⁷ asserted, standard radiographs are somewhat limited for a precise morphometric analysis due to the lack of 3D data on a planar X-ray which most likely introduce errors to the final geometry. Such distortion was not observed in our 3D-CT images, which was subsequently reflected on the percentage of correct classification (see Table 5 [¹¹ and ¹³]).

Overall, our results suggested that 3D-CT is a suitable alternative tool for objective quantification of osteological data that can provide highly accurate models for estimating sex. The standards developed here should be considered as specific for the Spaniards. The possible applicability to the other Mediterranean populations needs to be examined on comparative samples of osteometric and CT data. Moreover, further research based on morphometric evaluation using CT imaging technique are needed in order to expand the number of anatomically relevant features that could enable novel and reliable modern population standards applicable for identification in forensic settings.

Conclusion

This study demonstrates that clinical 3D-CT images-based linear measurements are reliable alternative method for the assessment of the proximal epiphysis of the femur in the modern adult population of Spain. Overall differences between traditional bone measurements on skeletal sample- and 3D-CT patient images, respectively, are negligible for the Spaniards and can be alternatively used. They are generally in consonance with those previously accomplished from groups of different geographical origin. In comparison with 2D technique, it was the 3D-CT approach that provided remarkably higher percentage of predictive ability. Discriminant functions can be extremely useful in assessment of fragmented femurs, especially in mass disaster victim identification, where direct

morphometry is difficult to apply and image processing techniques such as computed tomography is the only option to remain.

Acknowledgement

The authors wish to thank Dr José María Sevilla, specialist physician of the Radiodiagnostic department at the University Hospital of Guadalajara (Castilla-La Mancha Health Service-SESCAM), for providing CT image database; our gratitude also goes to Mr José Antonio Muñoz, Managing Director; Mrs Maribel Martín, coordinator of services; and all EMUCESA staff at the San José Cemetery in Granada who provided facilities for studying the contemporary reference skeletal collection. For technical support, thanks are due to Dr Sandra López.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest regarding this article.

References

1. *Purkait R, Heeresh CH*. A study of sexual variation in Indian femur. *Forensic Sci Int* 2004; 146: 25–33.
2. *Seeman E, Delmas PD*. Bone quality - the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med* 2006; 354(21):2250–2261.
3. *Purkait R*. Triangle identified at the proximal end of femur: a new sex determinant. *Forensic Sci Int* 2005; 147(2):135–139.
4. *Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I*. Estimation of Purkait's triangle method and alternative models for sex assessment from the proximal femur in the Spanish population. *Int J Legal Med* 2015; 130(1):245–251. doi 10.1007/s00414-015-1201-7.
5. *Cardoso HFV, Cunha E*. On the applicability of some femur measurements for sex diagnosis. In: *Varela TA*, editor. *Investigaciones en biodiversidad humana*. Santiago de Compostela: University of Santiago de Compostela; 2000. p. 208–213.
6. *Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G*. Re-examination of a measurement for sexual determination using the suproinferior femoral neck diameter in a modern European population. *J Forensic Sci* 2003; 48(3):517–520.
7. *Trancho GJ, Robledo B, López-Bueis I, Sánchez JA*. Sexual determination of the femur using discriminant functions. Analysis of a Spanish population of known sex and age. *J Forensic Sci* 1997; 42:181–185.
8. *Frutos, LR*. Brief communication: Sex determination accuracy of the minimum superoinferior femoral neck diameter in a contemporary rural Guatemalan population. *Am J Phys Anthropol* 2003; 122(2):123–126.
9. *King CA, Iscan MY, Loth SR*. Metric and comparative analysis of sexual dimorphism in the Thai femur. *J Forensic Sci* 1998; 43(5):954–958.
10. *Stojanowski CM, Seidemann RM*. A re-evaluation of the sex prediction accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter for modern individuals. *J Forensic Sci* 1999; 44(6):1215–1218.
11. *Mostafa EM, El-Ellemi AH, El-Beblawy MA, Dawood AEWA*. Adult sex identification using digital radiographs of the proximal epiphysis of the femur at Suez Canal University Hospital in Ismailia, Egypt. *Egypt J Forensic Sci* 2012; 2(3):81–88. doi:10.1016/j.ejfs.2012.03.001.

12. *Mitra A, Khadijeh B, Vida AP, Ali RN, Farzaneh M, Maryam VF*, et al. Sexing based on measurements of the femoral head parameters on pelvic radiographs. *J. Forensic Legal Med* 2014; 23:70–75.
13. *Harma A, Karakas HM*. Determination of sex from the femur in Anatolian Caucasians: a digital radiological study. *J Forensic Legal Med* 2007; 14(4): 190–194.
14. *Kranioti EF, Vorniotakis N, Galiatsou C, İşcan MY, Michalodimitrakis M*. Sex identification and software development using digital femoral head radiographs. *Forensic Sci Int* 2009; 189(1):113–e1.
15. *Ruiz Mediavilla E, Perea Pérez B, Labajo González E, Sánchez Sánchez JA, Santiago Sáez A, Dorado Fernández D*. Determining sex by bone volume from 3D images: discriminating analysis of the tali and radii in a contemporary Spanish reference collection. *Int J Legal Med* 2012; 126(4):623–631.
16. *Djorojevic M., Roldán C, García-Parra P, Alemán I, Botella M*. Morphometric sex estimation from 3D computed tomography os coxae model and its validation in skeletal remains. *Int J Legal Med* 2014; 128(5): 879–888.
17. *García-Parra P, Pérez Fernández A, Djorojevic M, Botella M, Alemán I*. Sexual dimorphism of human sternum in a contemporary Spanish population. *Forensic Sci Int* 2014(244) 313–e1.
18. *Gulhan O, Harrison K, Kiris A*. A new computer-tomography-based method of sex estimation: Development of Turkish population-specific standards. *Forensic Sci Int* 2015; 255:2–8.
19. *Clavero A, Salicrú M, Turbón D*. Sex prediction from the femur and hip bone using a sample of CT images from a Spanish population. *Int J Legal Med* 2015; 129(2):373–383. doi: 10.1007/s00414-014-1069-y.
20. *De Abajo FJ, Feito L, Júdez J, Martín MC, Terracini B, Pàmpols T*, et al. Directrices éticas sobre la creación y uso de registros con fines de investigación biomédica. *Rev Esp Salud Pública* 2008; 82: 21–42.
21. *Schumann S, Tannast M, Nolte LP, Zheng G*. Validation of statistical shape model based reconstruction of the proximal femur - a morphology study. *Med Eng Phys* 2010; 32(6): 638–644.
22. *Martin R, Saller K*. *Lehrbuch der Anthropologie—in systematischer Darstellung*. Stuttgart: Gustav Fischer, editor; 1957.

23. Osorio H, Schorwer K, Coronado C, Delgado J, Aravena P. Proximal femoral epiphysis anatomy in Chilean population. Orthopedic and forensic aspects. *Int J Morphol* 2012; 30(1):258–262.
24. Ulijaszek SJ, Kerr DA. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *Br J Nutr* 1999; 82(03):165–177.
25. Perini TA, Oliveira GLD, Ornellas JDS, Oliveira FPD. Technical error of measurement in anthropometry. *Rev Bras Med Esporte* 2005; 11(1):81–85.
26. Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA, Marazita ML. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate Craniofac J* 2004; 41:507–518.
27. Rubin PJ, Leyvraz PE, Aubagniac JM, Estève P, de Roguin B. The morphology of the proximal femur: a three-dimensional radiographic analysis. *J Bone Joint Surg* 1992; 74(B):28–32.
28. Ross AH, Manneschi MJ. New identification criteria for the Chilean population: Estimation of sex and stature. *Forensic Sci Int.* 2011; 204:206e1.

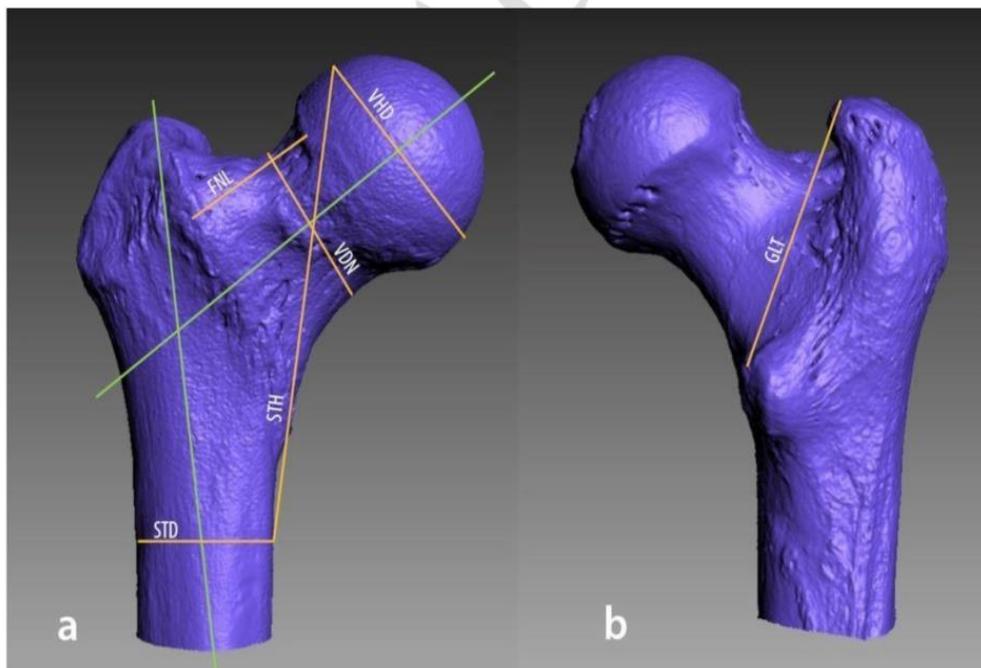


Fig. 1. Anatomic dimensions measured on: a) anterior view and b) posterior view of a 3D-model of the proximal epiphysis of a right femur

Table 1
Intra and inter-observer TEM, %TEM reliability by anthropometric measure

	Intra-observer			Inter-observer		
	TEM	%TEM	R	TEM	%TEM	R
STD	0.0432	1.267	0.950	0.0493	1.341	0.951
STH	0.1215	1.378	0.966	0.1162	1.329	0.970
GLT	0.0741	1.274	0.976	0.1062	1.818	0.951
VND	0.0419	1.300	0.981	0.0587	1.829	0.971
VHD	0.0420	0.988	0.988	0.0501	1.160	0.981
FNL	0.0711	2.396	0.951	0.0733	2.468	0.951

TEM technical error of measurement; %TEM; relative TEM; R coefficient of reliability

Table 2
Measures of central tendencies and comparisons of means

Variable	Male (73)		Female (73)		t	df	p-Value
	Mean	SD	Mean	SD			
STD	35.2397	2.26015	31.7781	2.70541	8.390	144	0.000*
STH	93.4671	4.69817	82.3493	4.80483	14.135	144	0.000*
GLT	61.1027	2.77994	54.7027	3.20208	11.895	144	0.000*
VND	35.1630	2.69817	30.1247	1.99129	12.837	144	0.000*
VHD	47.2890	2.85708	40.6397	2.23872	15.652	144	0.000*
FNL	31.4863	2.55589	26.7219	2.06197	12.396	144	0.000*

SD standard deviation; df degrees of freedom; * $p < 0.05$

Table 3

Classification accuracies obtained after applying DFs developed from the San José sample of dry femora⁴ to patients' clinical data

Measures	Male	Female	Sex bias	Total
VND	96.8%	52.0%	44.8%	74.4%
VHD	93.3%	88.0%	5.3%	90.7%
GLT	82.7%	86.7%	-4.0%	84.7%

Table 4

Discriminant functions, accuracy, cross-validation and posterior probabilities obtained from the hospital-patients' sample

Function	Variable	Coef.	Wilks' Lambda	Accuracy				Cross-Validated ^a	Posterior Prob. Mean		
				Male	Female	Total	Bias				
				Function 1	STH	0.21045	0.419			89.0%	86.3%
Constant	-18.50000	Function 2	GLT	0.33351	0.464	83.6%		87.7%	85.6%		
Constant	-19.31091	Function 3	VND	0.45203			0.448			90.4%	90.4%
Constant	-14.71960	Function 4	VHD	0.389612	0.370	90.4%		93.2%	91.8%		
Constant	-17.12947	Function 5	STD	0.17490			0.369			93.2%	90.4%
Constant	-21.59744	Constant	-21.59744								

	VND	0.15665							
Function 6	VHD	0.28941	0.353	93.2%	91.8%	92.5%	-1.4%	92.5%	92.18%
	Constant	-17.82491							
	VHD	0.25877							
Function 7	STH	0.10737	0.317	91.8%	94.5%	93.2%	2.7%	93.2%	93.13%
	Constant	-20.81522							
	VHD	0.29443							
Function 8	GLT	0.20170	0.272	95.9%	95.9%	95.9%	0%	95.9%	94.67%
	Constant	-24.62348							
	VHD	0.29012							
Function 9	FNL	0.20679	0.317	91.8%	95.9%	93.8%	2.0%	93.8%	93.89%
	Constant	-18.77340							
	GLT	0.23071							
Function 10	FNL	0.28401	0.330	90.4%	94.5%	92.5%	-4.1%	92.5%	92.35%
	Constant	-21.62475							
	VND	0.12288							
	VHD	0.22045							
Function 11	GLT	0.19644	0.263	94.5%	97.3%	95.9%	-2.8%	95.9%	94.75%
	Constant	-25.06789							
	VND	0.23569							
	GLT	0.19564							
Function 12	FNL	0.18101	0.270	93.2%	97.3%	95.2%	-4.1%	95.2%	95.20%
	Constant	-24.27112							

	VND	0.20790							
Function 13	GLT	0.18852							
	STH	0.09881	0.264	93.2%	95.9%	94.5%	-2.7%	94.5%	94.32%
	Constant	-26.37226							
	VHD	0.23507							
Function 14	GLT	0.18053							
	FNL	0.15530	0.248	94.5%	98.6%	96.6%	-4.1%	95.2%	95.54%
	Constant	-25.30742							
	VHD	0.21379							
Function 15	GLT	0.17950							
	STH	0.07898	0.249	95.9%	95.9%	95.9%	0.0%	95.9%	95.60%
	Constant	-26.73553							
	GLT	0.17528							
Function 16	FNL	0.19992							
	STH	0.11677	0.258	97.3%	97.3%	97.3%	0.0%	97.3%	95.23%
	Constant	-26.23283							
	VHD	0.16697							
Function 17	STH	0.07223							
	GLT	0.16251	0.230	95.9%	98.6%	97.3%	2.7%	95.9%	96.31%
	FNL	0.14270							
	Constant	-25.30742							

Coefficients and constants are to construct the discriminant equations

^a Jackknife leave-one- out method for cross validation is used

Table 5

Accuracy of the five coincident variables of the proximal femur explored in several populations by means of different methods

Variable Method	STD	STH	GLT	VND	VHD
3D-CT	Spanish ₁ 74%	Spanish ₁ 88.7%	Spanish ₁ 85.3%	Spanish ₁ 92%	Spanish ₁ 92%
patient images				Spanish ₄ ¹⁹ 90.4%	Turkish ¹⁸ 86%
				Turkish ¹⁸ 88%	
CT patient scans					Spanish ₄ ¹⁹ 93%; AC ¹³ 76.9%
Digital radiographs (living subjects)	Egyptians ¹¹ 66.7%	Egyptians ¹¹ 79.2%		Egyptians ¹¹ 100%	Egyptians ¹¹ 91.2%
				Iranians ¹² 77%	Iranians ¹² 78%
Digital radiographs (dry bone)				Greeks ¹⁴ 85.7%	Greeks ¹⁴ 80%
Dry bone (physical measurements)	Portuguese, Spanish ₃ ^{5,7} 73%- 74.24%		Spanish ₂ ⁴ 85.5% CI ³ 84.3%	Spanish ₂ ⁴ 91.9% EA, AA, Guatemalans & French ^{6,8,10} 83.85% - 90.1%	Spanish ₂ ⁴ 89.8% Chileans ²⁶ 86%, Thai ² , CI ¹ 91.3% - 92.7%

Spanish₁ (current study); Spanish₂, Spanish₃ and Spanish₄ (other studies on Spanish population ^{4, 7, 19}); EA (European Americans); AA (African Americans); CI (Central Indians); AC (Anatolian Caucasians). Mathematical model commonly used by the cited authors was DFA except for ¹⁹ who applied logistic regression.

Received on September 20, 2017.
Revised on February 26, 2018.
Accepted on February 28, 2017.
Online First March, 2018.

5.12. Datos sobre los Artículos publicados

Source	Springerlink	Downloads	Citations
Paper 1		415	9
Paper 2		327	2
Paper 3		no data	no data

Source	Research Gate	Reads	Citations
Paper 1		227	12
Paper 2		104	1
Paper 3		10	no data

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en nuestros tres trabajos confirman que la TC es la herramienta idónea para la estimación del sexo en la población española contemporánea, puesto que proporciona una fácil y rápida adquisición de imágenes 3D de gran resolución, además de una detallada visualización y exploración de las superficies y estructuras óseas. Un conjunto de datos médicos obtenidos de TAC con el grosor de corte de entre 1 mm y 5mm puede proporcionar modelos virtuales anatómicamente precisos y objetivos.
2. Tanto el hueso coxal como la epífisis proximal del fémur son elementos esqueléticos que han demostrado un elevado grado de dimorfismo, tras las mediciones llevadas a cabo sobre modelos en 3D.
3. Con la elaboración de una base de datos virtual y recopilación electrónica de datos métricos se podría evitar el problema de almacenamiento de grandes colecciones esqueléticas y reducir considerablemente el tiempo empleado en laboriosas tareas de preparación de restos óseos para el estudio.
4. El método propuesto en este estudio representa una alternativa fiable a las metodologías antropológicas tradicionales utilizadas para establecer el dimorfismo sexual. De ahí la necesidad de elaborar una base de datos virtual de la población actual que facilitaría el desarrollo de estándares españoles aplicables en distintas áreas de las ciencias forenses.
5. El error técnico de medición (TEM), el error técnico relativo de medición (% TEM) el coeficiente de fiabilidad (R) y el coeficiente de concordancia (CC) han demostrado la consistencia inter- e intra observadora, la precisión en mediciones, los altos niveles de asignaciones correctas del sexo y de ahí la repetibilidad del método. Donde se ha producido mayor diferencia en mediciones virtuales se atribuyen a la dificultad de ubicar los puntos de referencia o a la inadecuada orientación de la imagen y no a la calidad de la reproducción de la misma.
6. La baja variabilidad en las mediciones tomadas en hueso seco y en imágenes clínicas respectivamente indica que los modelos desarrollados a partir de los datos virtuales se pueden utilizar para determinar el sexo en restos óseos,

con excepción del diámetro vertical del cuello femoral. En este caso, el modelo obtenido

a partir de las mediciones en vivo no es posible aplicarlo en hueso esquelético, debido a los cambios finiseculares por los que se vio afectada esta área en la mujer.

7. Respecto al coxal, el porcentaje de casos clasificados correctamente se sitúa entre 89.3% y 94.7%, después de la validación cruzada. La dimensión independiente que ha mostrado el mayor dimorfismo sexual es el diámetro del acetábulo (90.0%). Entre los parámetros del fémur proximal, el diámetro vertical del cuello y el de la cabeza femoral son los que contribuyen de manera más significativa en la separación de sexos (90.4% - 91.8%).

8. Por lo general, los estándares obtenidos en TAC del fémur proximal están en consonancia con aquéllos previamente adquiridos a partir de hueso seco en grupos poblacionales de diferente origen geográfico.

9. La congruencia observada en los resultados de nuestro estudio sobre el coxal con los previamente llevados a cabo en hueso seco utilizando morfometría tradicional, indica que los estándares desarrollados para la población española podrían ser aplicados a otras poblaciones dentro del grupo mediterráneo.

10. No se ha demostrado la reproducibilidad del método de triángulo de Purkait en la población española. Los dos nuevos modelos que hemos propuesto - el diámetro máximo de la cabeza femoral y el diámetro supero-inferior de cuello del fémur, exceden notablemente el porcentaje de acierto de cualquiera de las variables de Purkait, y se pueden utilizar para evaluar el sexo a partir de los fragmentos recuperados. Además, a diferencia de la adquisición de datos de Purkait, nuestras medidas son más fáciles de tomar y exigen menos tiempo.

11. Pese al muy parecido grado de precisión que las medidas del cuello femoral y la cabeza femoral proporcionan, es recomendable usar el cuello femoral para la predicción de sexo, debido a su buen estado de conservación y a los pocos cambios que el proceso de envejecimiento deja en esta región, siempre y cuando la muestra esté compuesta por restos óseos de época contemporánea.

12. Las funciones discriminantes obtenidas de datos clínicos pueden ser muy útiles para la predicción del sexo a partir de coxales y fémures fragmentados,

especialmente en desastres masivos, cuando una identificación rápida y precisa es factor crucial. En tales circunstancias, la tomografía computarizada puede ser la opción más acertada debido a que diferentes estados en que se encuentran los restos recuperados no permiten utilizar los métodos forenses tradicionales.

13. Deberían realizarse estudios adicionales basados en colecciones virtuales de TAC de sujetos vivos con el fin de expandir el número de parámetros anatómicos a explorar y a partir de los datos recopilados desarrollar estándares que no se hayan obtenido previamente, además de reexaminar y/o redefinir los protocolos ya existentes para la estimación del sexo de la población española.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd-elaleem SA, Ahmed EA, Ewis AA (2012) Estimation of sex of Egyptian population by 3D Computerized Tomography of the pars petrosa ossis temporalis. *Egyptian J Forensic Sci* 2(1):29–32.
- Albanese J (2003) A metric method for sex determination using the hip bone and the femur. *J Forensic Sci* 48(2):263–273.
- Alemán Aguilera I, Botella López MC, Ruiz Rodríguez L (1997) Determinación del sexo en el esqueleto postcraneal. Estudio de una población mediterránea actual. *Arch. Esp. Morfol.* 2: 69–79.
- Alemán I, Irurita J, Valencia AR, Martínez A, López-Lázaro S, Viciano J, Botella MC (2012) Brief communication: the Granada osteological collection of identified infants and young children. *Am J Phys Anthropol* 149(4):606–610 doi: 10.1002/ajpa.22165.
- Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G (2003) Reexamination of a measurement for sexual determination using the supero-inferior femoral neck diameter in a modern European population. *J Forensic Sci* 48(3):517–520.
- Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G (2008) Sex determination from the distal part of the femur in a French contemporary population. *Forensic Sci Int* 175(2):113–117.
- Anastopoulou I, Eliopoulos C, Valakos ED, Manolis SK (2014) Application of Purkait's triangle method on a skeletal population from southern Europe. *Forensic Sci Int* 245C:203–e1–203.e4. DOI:10.1016/j.forsciint.2014.10.005.
- Asala SA (2001) Sex determination from the head of the femur. *Forensic Sci Int* 117(1–2): 15–22.
- Barton CJ, Bonnanno D, Menz HB (2009) Development and evaluation of a tool for the assessment of footwear characteristics. *J Foot Ankle Res* 23:2–10.
- Bass WM (1987) *Human osteology: a laboratory and field manual* (Nº. 2). Missouri Archaeological Society.
- Benazzi S, Maestri C, Parisini S, Vecchi F, Gruppioni G (2008) Sex assessment from the acetabular rim by means of image analysis. *Forensic Sci Int* 180:58.e1–58.e3.

- Bilfeld MF, Dedouit F, Rousseau H, Sans N, Braga J, Rougé D, Telmon N (2012) Human coxal bone sexual dimorphism and multislice computed tomography: geometric morphometric analysis of 65 adults. *J Forensic Sci* 57(3):578–588.
- Biwasaka H, Aoki Y, Sato K, Tanijiri T, Fujita S, Yoshioka K, Tomabechi M (2012) Analysis of sexual dimorphism of reconstructed pelvic computed tomography images of contemporary Japanese using curvature of the greater sciatic notch, pubic arch and greater pelvis. *Forensic Sci Int* 219(1–3):228.e1–8.
- Bookstein FL (1991) *Morphometric tools for landmark data. Geometry and Biology.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Bookstein FL (1997) Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group for differences in outline shape. *Med Image Anal* 1(3):225–243.
- Brough AL, Morgan B, Ruddy GN (2015) Postmortem computed tomography (PMCT) and disaster victim identification. *Radiol Med* 120(9):866-873.
- Brown RP, Ubelaker DH, Schanfield MS (2007) Evaluation of Purkait's triangle method for determining sexual dimorphism. *J Forensic Sci* 52(3):553–556.
- Bruzek J (2002) A method for visual determination of sex using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117(2):157–168.
- Bytheway JA, Ross AH (2010) A geometric morphometric approach to sex determination of the human adult os coxa. *J Forensic Sci* 55(4):859–864.
- Campomanes-Álvarez BR, Ibáñez O, Navarro F, Alemán I, Botella M, Damas S, Cordon O (2014) Computer vision and soft computing for automatic skull–face overlay in craniofacial superimposition. *Forensic Sci Int* 245:77-86.
- Cardoso HFV, Cunha E (2000) On the applicability of some femur measurements for sex diagnosis. In: Varela TA, editor. *Investigaciones en biodiversidad humana.* Santiago de Compostela: University of Santiago de Compostela; pp. 208–213.
- Clavero A, Salicrú M, Turbón D (2015) Sex prediction from the femur and hip bone using a sample of CT images from a Spanish population. *Int J Legal Med* 129(2):373–383. doi:10.1007/s00414-014-1069-y.

- Chiba F, Makino Y, Motomura A, Inokuchi TS, Ishii N, Sakuma N, Nagasawa S, Saitoh H, Yajima D, Hayakawa M, Odo Y, Suzuki Y, Iwase H (2013) Age estimation by multidetector CT images of the sagittal suture. *Int J Legal Med* 127:1005–1011.
- Damas S, Cerdón O, Ibáñez O, Santamaría J, Alemán I, Botella M, Navarro F (2011) Forensic Identification by Computer-Aided Craniofacial Superimposition: A Survey. *ACM Computing Surveys* 43(27):1-26).
- De Abajo FJ, Feito L, Júdez J, Martín MC, Terracini B, Pàmols T, *et al.*, (2008) Directrices éticas sobre la creación y uso de registros con fines de investigación biomédica. *Rev Esp Salud Pública* 82: 21–42.
- De la Fuente S (2011) Análisis Discriminante. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: <http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/SEGMENTACION/DISCRIMINANTE/analisis-discriminante.pdf>
- Del Cura Rodríguez JL; Oleaga Zufiría L (2005) coord. *La Radiología en urgencias: temas de actualidad*, Buenos Aires; Madrid, Médica Panamericana.
- Decker SJ, Davy-Jow SL, Ford JM, Hilbelink DR (2011) Virtual determination of sex: metric and nonmetric traits of the adult pelvis from 3D computed tomography models. *J Forensic Sci* 56(5):1107–1114.
- Dedouit F, Telmon N, Costagliola R, Otal P, Florence LL, Joffre F, Rouge D (2007) New identification possibilities with post-mortem multislice computed tomography. *Int J Legal Med* 121:507–510.
- Djorojevic M, Roldán C, García-Parra P, Alemán I, Botella, M (2014) Morphometric sex estimation from 3D computed tomography os coxae model and its validation in skeletal remains. *Int J Legal Med* 128(5): 879–888.
- Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I (2016) Estimation of Purkait's triangle method and alternative models for sex assessment from the proximal femur in the Spanish population. *Int J Legal Med* 130(1):245–251.

- Djorojevic M, Roldán C, Botella M, Alemán I (2018) Sex assessment from the proximal femur in a Spanish population based on three-dimensional computed tomography metric analysis. DOI: <https://doi.org/10.2298/VSP170920031D>
- Du Jardin P, Ponsaillé J, Alunni-Perret V, Quatrehomme G (2009) A comparison between neural network and other metric methods to determine sex from the upper femur in a modern French population. *Forensic Sci Int* 192(1-3):127.e1–127.e6.
- Elkan C, *Evaluating Classifiers* University of California (2011), San Diego. Disponible en: <http://cseweb.ucsd.edu/~elkan/250Bwinter2011/classifiereval.pdf>
- Fernández SP, Díaz SP (2004) Investigación: Análisis de concordancia para variables numéricas. La fiabilidad de las mediciones clínicas: el análisis de concordancia para variables numéricas. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario-Universitario Juan Canalejo. A Coruña (España) 1–9.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A (2012) The application of traditional and geometric morphometric analyses for forensic quantification of sexual dimorphism: preliminary investigations in a Western Australian population. *Int J Legal Med* 126:549–558.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A (2013) Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 229:158.e1–158.e8.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A, Marks MK, Hart R, Oxnard C, O'Higgins P (2013) Concordance of traditional osteometric and volume-rendered MSCT interlandmark cranial measurements. *Int J Legal Med* 127:505–520.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Marks MK (2014) Morphometric analysis of pelvic sexual dimorphism in a contemporary Western Australian population. *Int J Legal Med* 128(5):861–872.

- Frutos LR (2003) Brief communication: Sex determination accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter in a contemporary rural Guatemalan population. *Am J Phys Anthropol* 122(2):123–126.
- García-Parra P, Pérez Fernández A, Djorojevic M, Botella M, Alemán I (2014) Sexual dimorphism of human sternum in a contemporary Spanish population. *Forensic Sci Int* 244:313.e1-313.e9.
- Genovés ST (1959) Diferencias sexuales en el hueso coxal. Universidad Nacional Autónoma de México (Ed.), Instituto de Historia, Dirección General de Publicaciones.
- Gómez-Valdés JA, Ramírez GT, Báez Molgado S, Herrera Sain-Leu P, Castrejón Caballero JL, Sánchez-Mejorada G (2011) Discriminant function analysis for sex assessment in pelvic girdle bones: sample from the contemporary Mexican population. *J Forensic Sci* 56(2): 297–30.
- González PN, Bernal V, Pérez SI (2009) Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. *Forensic Sci Int* 189:68–74.
- Gulhan O, Harrison K, Kiris A (2015) A new computer-tomography-based method of sex estimation: Development of Turkish population-specific standards. *Forensic Sci Int* 255:2–8.
- Gunz P, Mitteroecker P, Bookstein FL (2004) Semilandmarks in three dimensions. In: Slice DE (Ed.) *Modern morphometrics in physical anthropology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 73–98.
- Harma A, Karakas HM (2007) Determination of sex from the femur in Anatolian Caucasians: a digital radiological study. *J Forensic Legal Med* 14(4): 190–194.
- Harris EF, Smith RN (2009) Accounting for measurement error: A critical but often overlooked process. *Archives of Oral Biology* 54: S107 – S117.
- Huberty CJ (1994). *Applied Discriminant Analysis*. New York, Wiley, pp. 466.
- Hussain F, Abdul Kadir MR, Zulkifly AH, Sa'at A, Aziz AA, Hossain MG, Syahrom A (2013) Anthropometric measurements of the human distal femur: a study of the adult Malay population. *BioMed Research International*, Article ID 175056, 5 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/175056>.

- İşcan MY, Derrick K (1984) Determination of sex from the sacroiliac joint: a visual assessment technique. *Florida Sci* 47:94–98 *Int J Legal Med*.
- Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M, Dirnhofer R, Thali MJ (2006) Maximum intensity projection of cranial computed tomography data for dental identification. *Int J Legal Med* 120(3):165–167.
- Kelley M (1979) Sex determination with fragmented skeletal remains. *J Forensic Sci* 24: 154-158.
- Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A (2010) Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med* 124(2):149–54.
- Kieser JA, Groeneveld HT, McKee J, Cameron N (1990) Measurement error in human dental mensuration. *Ann Hum Biol* 17:523–8.
- King CA, İscan MY, Loth SR (1998) Metric and comparative analysis of sexual dimorphism in the Thai femur. *J Forensic Sci* 43:954–958.
- Kranioti EF, Vorniotakis N, Galiatsou C, İşcan MY, Michalodimitrakis M (2009) Sex identification and software development using digital femoral head radiographs. *Forensic Sci Int* 189(1):113–e1.
- Kranioti EF, Nathana D, Michalodimitrakis M (2011) Sex estimation of the Cretan humerus: a digital radiometric study. *Int J Legal Med* 125:659–667.
- Krogman WM, İscan MY (1986) *The human skeleton in forensic medicine*. Charles C. Thomas, Springfield.
- Lin L (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45(1):255–268.
- López-Alcaraz M, Garamendi PM, Alemán I, Botella LM (2013) Image analysis of pubic bone for sex determination in a computed tomography sample. *Int J Legal Med* 127:1145–1155.
- Macaluso PJ (2011) Sex discrimination from the glenoid cavity in black South Africans: morphometric analyses of digital photographs. *Int J Legal Med* 125:773–778.

- Mahfouz M, Badawi A, Merkl B, Abdel Fatah E, Pritchard E, Kesler K, Moore M, Jantz R, Jantz L (2007) Patella sex determination by 3D statistical shapemodels and nonlinear classifiers. *Forensic Sci Int* 173:161-170.
- Mall G, Graw M, Gehring KD, Hubig M (2000) Determination of sex from femora. *Forensic Sci Int* 113(1):315–321.
- Mandeville P (2007). El coeficiente de correlación de concordancia de Lin. *Ciencia. UANL*, 10(1):91-94.
- Martin R, Knußmann R (1988) *Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik*. Gustav Fischer (Ed.), Stuttgart, Nueva York.
- McBride GB (2005) A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. NIWA Client Report: HAM2005-062.
- Mitra A, Khadijeh B, Vida AP, Ali RN, Farzaneh M, Maryam VF, *et al.* (2014) Sexing based on measurements of the femoral head parameters on pelvic radiographs. *J. Forensic Legal Med* 23:70–75.
- Mostafa EM, El-Ellemi AH, El-Beblawy MA, Dawood AEWA (2012) Adult sex identification using digital radiographs of the proximal epiphysis of the femur at Suez Canal University Hospital in Ismailia, Egypt. *Egypt J Forensic Sci* 2(3):81–88. DOI:10.1016/j.ejfs.2012.03.001.
- Murail P, Bruzek J, Houët F, Cunha E (2005) DSP: a tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bull Mém Soc Anthropol Paris* 17(3–4):167–176.
- Osorio H, Schorwer K, Coronado C, Delgado J, Aravena P (2012) Proximal femoral epiphysis anatomy in Chilean population. Orthopedic and forensic aspects. *Int J Morphol* 30(1):258–262.
- Patriquin ML, Steyn M, Loth SR (2002) Metric assessment of race from the pelvis in South Africans. *Forensic Sci Int* 127:104–113.
- Perini TA, Oliveira GLD, Ornellas JDS, Oliveira FPD (2005) Technical error of measurement in anthropometry. *Rev Bras Med Esporte* 11(1):81–85.
- Phenice TW (1969) A newly developed visual method of sexing the os pubis. *Am J Phys Anthropol* 30(2):297–302.

- Purkait R, Chandra H (2004) A study of sexual variation in Indian femur. *Forensic Sci Int* 146:25–33.
- Purkait R (2005) Triangle identified at the proximal end of femur: a new sex determinant. *Forensic Sci Int* 147(2):135–139.
- Ramsthaller F, Kettner M, Gehl A, Verhoff MA (2010) Digital forensic osteology: morphological sexing of skeletal remains using volume-rendered cranial CT scans. *Forensic Sci Int* 195:148–152.
- Rissech C, Malgosa A (1997) Sex prediction by discriminant function with central portion measures of innominate bones. *Homo* 48: 22–32.
- Rissech C, Malgosa A (1991) Importancia relativa de la longitud del pubis y la anchura del ilion en el estudio del dimorfismo sexual de los coxales. *Bol Soc Esp Antrop Biol* 12:29–43.
- Rogers T, Saunders S (1994) Accuracy of sex determination using morphological traits of the human pelvis. *J Forensic Sci* 39(4):1047–1056.
- Ross AH, Manneschi MJ (2011) New identification criteria for the Chilean population: Estimation of sex and stature. *Forensic Sci Int* 204:206e1.
- Rubin PJ, Leyvraz PE, Aubagniac JM, Estève P, de Roguin B (1992) The morphology of the proximal femur: a three-dimensional radiographic analysis. *J Bone Joint Surg* 74(B):28–32.
- Ruiz Mediavilla E, Perea Pérez B, Labajo González E, Sánchez Sánchez JA, Santiago Sáez A, Dorado Fernández D (2012) Determining sex by bone volume from 3D images: discriminating analysis of the tibiae and radii in a contemporary Spanish reference collection. *Int J Legal Med* 126(4):623–631.
- Sarajlic N, Ljeljak-Rozajac L, Stancic A (2012) Sex determination of the Bosnian population based on discriminant function analysis. *Health MED J* 6(2):694–698, http://www.healthmed.ba/pdf/HealthMED_6_2_stamp.pdf. Descargado el 20 de diciembre de 2014.
- Seeman E, Delmas PD (2006) Bone quality – the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med* 354(21):2250–2261.
- Seidemann RM, Stojanowski CM, Doran GH (1998) The use of the supero-inferior femoral neck diameter as a sex assessor. *Am J Phys Anthropol* 107:305–313.

- Schulter-Ellis FP, Hayek LC, Schmidt DJ (1985) Determination of sex with a discriminant analysis of new pelvic bone measurements: part II. *J Forensic Sci* 30(1):178–85.
- Schumann S, Tannast M, Nolte LP, Zheng G (2010) Validation of statistical shape model based reconstruction of the proximal femur – a morphology study. *Med Eng Phys* 32(6): 638–644.
- Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R, Vock P, Thali M (2007) Use of multislice computed tomography in disaster victim identification—Advantages and limitations. *Forensic Sci Int* 169(2–3) 2007: 118-128.
- Steyn M, İşcan MY (1997) Sex determination from the femur and tibia in South African Whites. *Forensic Sci Int* 90(1):111–119.
- Soni G, Dhall U, Chhabra S (2010) Determination of sex from femur: discriminant analysis. *J Anat Soc India* 59(2):216–221.
- Steyn M, Patriquin ML (2009) Osteometric sex determination from the pelvis –does population specificity matter? *Forensic Sci Int* 191(1–3):113.e1–113.e5.
- Steyn M, İşcan MY (2008) Metric sex determination from the pelvis in modern Greeks. *Forensic Sci Int* 179:86.e1–86.e6.
- Stojanowski CM, Seidemann RM (1999) A reevaluation of the sex prediction accuracy of the minimum supero-inferior femoral neck diameter for modern individuals. *J Forensic Sci* 44(6):1215–1218.
- Stull KE, Tise ML, Ali Z, Fowlerc DR (2014) Accuracy and reliability of measurements obtained from computed tomography 3D volume rendered images. *Forensic Sci Int* 238: 133-140.
- Šlaus M, Strinovic D, Skavic J, Petrovecki V (2003) Discriminant function sexing of fragmentary and complete femora: standards for contemporary Croatia. *J Forensic Sci* 48(3):509–512.
- Tabachnick BG, Fidell LS (2007) *Using multivariate statistics*, 5th edn. Allyn & Bacon, Boston.
- Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C, Ozdoba C, Schroth G, Ith M, Sonnenschein M, Doernhoefer T, Scheurer E, Plattner T, Dirnhofer R (2003)

- Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)-a feasibility study. *J Forensic Sci* 48(2):386-403.
- Trancho GJ, Robledo B, López-Bueis I, Sánchez A (1997) Sexual determination of femur using discriminant function analysis of a Spanish population of known sex and age. *J Forensic Sci* 42:181–185.
- Tzvetkov S (2009) The reproducibility of the ventilatory anaerobic threshold determination methods among two maximal treadmill exercise protocols in elite orienteers. *Physical Education and Sport, Bulgaria* 45–53.
- Ubelaker DH, Volk CG (2002) A test of the Phenice method for the estimation of sex. *J Forensic Sci* 47(1):19–24.
- Ulijaszek SJ, Kerr DA (1999) Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *Br J Nutr* 82(03):165–177.
- Utermohle CJ, Zegura SL, Heathcote GM (1983) Multiple observers, humidity, and choice of precision statistics: factors influencing craniometric data quality. *Am J Phys Anthropol* 61:85–95.
- Uthman AT, Al-Rawi NH, Al-Timimi JF (2012) Evaluation of foramen magnum in gender determination using helical CT scanning. *Dentomaxillofac Radiol* 41(3):197–202.
- Uysal S, Gokharman D, Kacar M, Tuncbilek I, Kosar U (2005) Estimation of Sex by 3D CT Measurements of the Foramen Magnum. *J Forensic Sci* 50(6):1310-1314.
- Von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM (2007) The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods and modifications. *Am J Phys Anthropol* 134:24–35.
- Vacca E, Di Vella G (2012) Metric characterization of the human coxal bone on a recent Italian sample and multivariate discriminant analysis to determine sex. *Forensic Sci Int* 222(1–3):401.e1–401.e9.
- Verhoff MA, Ramsthaler F, Krahahn J, Deml U, Gille RJ, Grabherr S, Thali MJ, Kreutz K (2008) Digital forensic osteology possibilities in cooperation with the Virtopsy® project. *Forensic Sci Int* 174:152–156.

- Walker PL (2005) Greater sciatic notch morphology: sex, age and population differences. *Am J Phys Anthropol* 127(4):385–391.
- Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA, Marazita ML (2004) Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate Craniofac J* 41:507–518.
- Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Marazita ML (2005) Intraobserver error associated with measurements of the hand. *Am J Hum Biol* 17: 368–371.
- White TD, Folkens PA (2000) *Human osteology*, 2nd ed. Academic Press, San Diego.
- Wu L (1989) Sex determination of Chinese femur by discriminant function. *J Forensic Sci* 34(5):1222–1227.
- Yoldi Chaure A, Botella López MC (1999) Sex determining discriminant functions from the os coxae in a Mediterranean population of known sex. *Arch Esp Morfol* 4:73–94.
- Yoldi A, Alemán I, Botella MC (2001) Funciones discriminantes del sexo a partir del ilion en una población mediterránea de sexo conocido. *Rev Esp Antrop Biol* 22:23–38.

