

ESTUDIOS DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA

VOLUMEN XVII (1)

Editores

Bernardo Adrián Robles Aguirre
María Elena Sáenz Faulhaber
Liliana Torres Sanders



Instituto Nacional
de Antropología
e Historia

 **CONACULTA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA
MÉXICO 2015

DETERMINACIÓN DEL SEXO EN EL HUESO CALCÁNEO DE POBLACIÓN MEXICANA POR MEDIO DE FUNCIONES DISCRIMINANTES

Lilia Escorcía-Hernández

Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

El análisis discriminante es una herramienta de apoyo en la identificación de características para diferenciar a dos o más grupos, por ello en el campo de la osteología antropológica es frecuente su aplicación en el tema del dimorfismo sexual, sobre todo cuando los materiales se encuentran en condiciones desfavorables de conservación, en contextos aislados e incluso incompletos. En este caso, se midió la longitud máxima y la anchura media del calcáneo de 90 individuos de sexo femenino y 94 de sexo masculino con datos biográficos conocidos, de la población esquelética proveniente de un cementerio de Caltimacán, Tasquillo, Hidalgo. Como resultado se obtuvieron tres funciones discriminantes, dos de ellas directas y con porcentajes de certeza de 68.5 a 76.6 %. La longitud máxima del calcáneo es la variable más dimórfica; sin embargo, la combinación de ambas medidas incrementa la certeza a 78.1 %. Aunque el porcentaje no es tan alto, se mantiene con un nivel de confiabilidad seguro. Este resultado es relevante no sólo para la determinación de sexo en el estudio de las poblaciones pretéritas mexicanas, sino también en la individualización de restos óseos de individuos no identificados en contextos forenses.

PALABRAS CLAVE: Calcáneo, funciones discriminantes, determinación de sexo, osteología forense.

ABSTRACT

Discriminant analysis is a statistical tool of support in the identification of characteristics in order to differentiate between two or more groups, that is why its frequent application in the subject of sexual dimorphism in the field of anthropological osteology, especially when materials are on unfavorable conditions of conservation, in isolated and even incomplete contexts. In this case, the maximum length and the average width of the calcaneus bone of 90 individuals of the female sex and 94 of male sex was measured with known biographical details, the skeletal population from a cemetery of Caltimacan, Tasquillo, Hidalgo State. Three discriminant functions, two of them direct and with a certainty of 68.5-76.6 % percentages were obtained as a result. The maximum length of the calcaneus bone turned out to be the variable more dimorphic, however the combination of both measures increased

the percentage of certainty to a 78.1 %. Although the percentage is not as high, stays with a safe level of reliability. The result of this work is relevant not only for the determination of sex in the study of the Mexican past populations, but also in the identification of skeletal remains of individuals not identified in forensic contexts.

Keywords: Calcaneus bone, discriminant functions, sex determination, forensic osteology.

INTRODUCCIÓN

El *dimorfismo sexual* refiere al conjunto de rasgos biológicos que distinguen a los dos sexos de una especie, es decir, el macho de la hembra.¹ Algunas de las diferencias morfológicas entre los sexos se exageran en la pubertad, como los caracteres terciarios, aunque algunos de ellos se comparten, por ejemplo el crecimiento de glándulas de la piel y el poblamiento de pelo en pubis y axilas, otros son exclusivos del sexo masculino o del femenino. Respecto a los cambios que intervienen en el desarrollo muscular y esquelético, así como en las diferentes proporciones somáticas, en los masculinos los hombros son más anchos, las caderas más angostas y las extremidades inferiores son relativamente más largas, a diferencia de las hembras que presentan caderas más anchas que los hombros y extremidades inferiores más cortas, aunque durante el embarazo ocurre una serie de modificaciones fisiológicas y morfológicas ligadas a la procreación. Sin embargo, estas diferencias no sólo están vinculadas a la reproducción sexual, la cual funge como un mecanismo para la preservación de la especie a través de la herencia, sino también a otros aspectos, entre ellos la variabilidad biológica entre poblaciones que se refleja en el tamaño de los cuerpos (Bruzek 1995). Este motivo conlleva a buscar otras alternativas para evaluar las diferencias sexuales aplicables en cada población, así surge la osteología que da cabida al procedimiento que a continuación se describe.

Las funciones discriminantes son un procedimiento estadístico que identifica las características para diferenciar dos o más grupos de individuos o cosas, al crear una función con la cualidad de distinguir, con la mayor precisión posible, a los miembros pertenecientes a cada grupo. Sin embargo, para que esta condición se cumpla, es preciso disponer de la información de pertenencia de cada grupo, para conocer con certeza las diferencias y su grado, de tal forma que el procedimiento no sólo indicará las variables que permitirán la diferen-

¹ Los organismos multicelulares poseen órganos especializados llamados gónadas, éstas producen células sexuales denominadas gametos, de tal forma que cuando se produce la fecundación la información genética se transfiere desde los espermatozoides (gametos masculinos) a los óvulos (gametos femeninos), pero son los cromosomas sexuales los responsables de determinar el sexo; en este proceso también intervienen las hormonas (Escorcía 2008).

ciación, sino cuántas de ellas son necesarias para alcanzar la mejor clasificación o discriminación posible.

Este procedimiento se ha utilizado en diversas áreas del conocimiento desde que Fisher lo presentó en la década de 1930 (Thieme y Schull 1957) y cinco años más tarde, por vez primera, Barnard lo utilizó en 1935 con cráneos egipcios (Giles y Elliot 1963). Desde entonces, le han sucedido un sin número de investigaciones en diferentes partes del esqueleto y recientemente en diversas colecciones osteológicas, debido a que se ha probado que los resultados son tan sensibles que difícilmente se aplican con éxito en poblaciones biológicamente distantes.

En esta ocasión el procedimiento se usó en el hueso calcáneo de una población mexicana del altiplano, con el fin de obtener funciones discriminantes como método de apoyo para determinar el sexo de un esqueleto a partir de dos medidas. Asimismo, se probaron los resultados en una pequeña muestra ósea de individuos completos de una población biológicamente cercana a la del estudio, en la que previamente se identificó el sexo por medio de las técnicas morfoscópicas tradicionales. Los resultados expuestos son parte de la tesis de L. Escorcía (2008).

ANTECEDENTES

Desde los años 1970s, el calcáneo ha sido objeto de estudio de este procedimiento estadístico en diversas poblaciones (Bidmos 2006; Bidmos y Asala 2003, 2004; DiMichelle y Spradley 2012; Gualdi-Russo 2007; Kim *et al.* 2013; Murphy 2002). Las revistas internacionales reportan 15 publicaciones sobre este hueso, la mayoría en colecciones esqueléticas, salvo dos en personas vivas, todos los casos son adultos. Generalmente, las colecciones esqueléticas de estudio son contemporáneas y con datos biográficos de edad y sexo conocidos.

El primer estudio para determinar el sexo por medio del calcáneo fue reportado por Steele (1976), aunque combinado con el astrágalo, en esqueletos de individuos blancos y negros americanos de la Colección de Terry que alberga el Instituto Smitsoniano en Washington D. C. Con diez variables obtuvo cinco funciones para ambos huesos, en dos de ellas involucró el calcáneo. Pickering (1986) usó el mismo procedimiento en cinco poblaciones óseas: tailandeses, amerindios, blancos y negros americanos y japoneses, con una muestra de 167 hombres, algunos con datos documentados. A partir de ocho medidas obtuvo seis funciones discriminantes, con una certeza de 73 a 80 %, las longitudes fueron

las más dimórficas. Riepert *et al.* (1996) por medio de radiografías laterales del tobillo de 800 pacientes europeos de ambos sexos analizaron tres medidas y tres ángulos, concluyeron que la longitud del calcáneo es la más dimórfica. La función resultante alcanzó 80 % de clasificación correcta. Alemán estudió 95 esqueletos contemporáneos de españoles con un porcentaje de certeza de 80 a 90 % (Alemán 1997 en Pimienta 2000). Introna *et al.* (1997) incluyeron ocho medidas en el calcáneo derecho de 80 esqueletos contemporáneos de italianos del sureste con tres funciones exitosas (85 % de clasificación correcta). Wilbur (1998) analizó los huesos de la mano y de los pies de 410 esqueletos prehistóricos de americanos nativos del oeste central de Illinois, con los indicadores morfoscópicos tradicionales determinó el sexo; incluyó tres medidas del calcáneo, con el mismo número de funciones discriminantes resultantes, con porcentajes de 80 a 90 % de certeza.

La década del 2000 abarcó siete estudios que abordaron el tema en diferentes poblaciones. En el 2002, Murphy evaluó cinco medidas del calcáneo de 48 esqueletos prehistóricos de polineses de Nueva Zelanda, obtuvo la misma cantidad de funciones discriminantes con 88.4 a 93.5 % de certeza. Este autor en 2005 analizó cuatro medidas en las superficies articulares de 51 astrágalos y 48 calcáneos de ambos sexos de la misma población, precisó que las medidas de las carillas articulares de ambos huesos en conjunto tuvieron un poder discriminatorio mayor que por separado (92.3 % de certeza).

Bidmos y Asala (2003) tomaron nueve medidas del calcáneo de 153 esqueletos contemporáneos de blancos sudafricanos de la Colección Raymond A. Dart. Obtuvieron 17 funciones discriminantes con certeza de 81 a 92 %, todas las medidas fueron dimórficas. Al siguiente año, estos autores reportaron el mismo procedimiento en 116 esqueletos de la misma colección, ahora en población negra, con certeza de 79 a 86 % (Bidmos y Asala 2004). Dos años más tarde Bidmos (2006), con el mismo procedimiento, estudió los esqueletos contemporáneos de 180 individuos de procedencia indígena y eurodescendientes sudafricanos de la misma colección, esta vez obtuvo dos funciones discriminantes con 81 y 89 % de certeza.

Gualdi-Russo (2007) analizó el calcáneo de ambos lados de 118 individuos italianos del norte, con datos de sexo conocido, tomó nueve medidas y obtuvo dos funciones discriminantes con una certeza de 87.9 a 95.7 %. La década cerró con la publicación de Zhang *et al.* (2008), ellos efectuaron el segundo estudio elaborado hasta el momento en población viva. Tomaron radiografías digitales a

393 individuos del suroeste de la República Popular China, por medio de cinco medidas obtuvieron seis funciones discriminantes con 78.4 al 88.9 % de certeza.

En lo que va de la presente década se han reportado dos investigaciones: DiMichele y Spradley (2012) estudiaron 230 esqueletos contemporáneos de blancos y negros americanos, así como algunos hispanos de la colección de William Bass. Por medio de cuatro variables lograron una función discriminante con una certeza promedio de 86.69 %, la variable más dimórfica fue la anchura de las facetas articulares del calcáneo. Kim *et al.* (2013) incluyeron diez medidas del calcáneo derecho de 104 esqueletos contemporáneos de coreanos, lograron ocho funciones discriminantes con certeza de 65.4 a 89.4 %.

El recuento de los trabajos enfocados a las expresiones dimórficas del hueso calcáneo en las diferentes poblaciones a través de este procedimiento estadístico y el potencial de su aplicación fue la principal motivación de emprender uno propio en México, para contribución en los procedimientos de identificación de individuos en contextos forenses.

MATERIAL Y MÉTODO

La muestra incluyó la revisión de 209 esqueletos contemporáneos de ambos sexos con datos biográficos conocidos provenientes del cementerio de San Juan Bautista Caltímacán, municipio de Tasquillo, Hidalgo, con el fin de hacer un análisis métrico del calcáneo izquierdo. La exhumación de los restos fue producto de la recimentación del atrio y la remodelación del templo católico; con la autorización de los familiares de los difuntos y antes de su devolución, para su posterior reintermentación en otro cementerio, se registraron los datos métricos y morfoscópicos pertinentes.

En este hueso se incluyeron dos variables, las cuales se caracterizan a continuación de acuerdo con Buikstra y Ubelaker (1994: 84) (figura 1), ambas deben de tomarse con el compás de correderas (CC):

Longitud máxima (CALMA). Es la distancia entre el punto más proyectado posteriormente de la tuberosidad y el punto más anterior del margen superior de la carilla articular para el cuboides.

Anchura media (CAAN). Es la distancia entre el punto de proyección más lateral en la carilla articular dorsal y el punto más medial del sustentáculo del astrágalo.

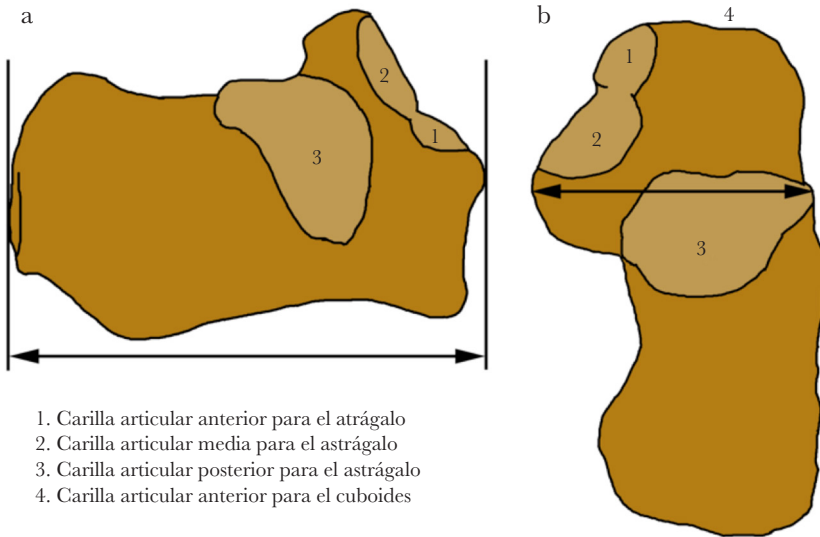


Figura 1. Esquema anatómico en vista lateral del calcáneo derecho: a) Longitud máxima (CALMA) y b) Anchura media del calcáneo (CAAN). Dibujo de L. Escorcía.

Se utilizó el procedimiento estadístico del análisis discriminante (Pardo y Ruiz 2002) del programa informático *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) v. 14.0.1.

RESULTADOS

De los 209 individuos revisados sólo se incluyeron 188 calcáneos para evaluar la longitud máxima de este hueso: 93 femeninos y 95 masculinos; la anchura media se tomó en 184 piezas: 90 femeninos y 94 masculinos (cuadros 1 y 2). El cuadro 1 contiene la cantidad de casos incluidos y excluidos en el análisis de cada variable. Los excluidos carecieron de un valor para la variable considerada en el calcáneo, su ausencia se debe principalmente al daño o pérdida ósea, lo que imposibilita la medida y el campo de la variable queda vacío.

Cuadro 1. Casos incluidos y excluidos en el análisis de cada variable

Variables	Casos				
	Válidos	%	excluidos	%	Total
CALMA	188	90.0	21	10.0	209
CAAN	184	88.0	25	12.0	209
CALMA+CAAN	183	87.6	26	12.4	209

En el cuadro 2 las estadísticas descriptivas generales indican el valor mínimo y máximo de cada medida, la media y la desviación estándar (DE)

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas

Variables	Sexo	n	Mínimo	Máximo	Media	DE
CALMA	Femenino	93	60	80	69.03	4.18
	Masculino	95	61	93	75.78	5.34
CAAN	Femenino	90	21	47	31.11	7.02
	Masculino	94	20	54	37.61	7.41

En el análisis multivariante (cuadro 3) el *autovalor* y la *correlación canónica* se obtuvieron para conocer si ambos grupos, masculino y femenino, podían diferenciarse. El autovalor de cada variable dice que sí es posible distinguir a los grupos, aunque la longitud máxima y la combinación de ambas incrementan esta capacidad. Respecto de la correlación canónica, para este caso el resultado más alto de 0.577, correspondiente a la longitud máxima, indica mayor posibilidad de diferenciar a ambos grupos que aquella de 0.412, referente a la anchura media del calcáneo. Asimismo, se evaluó la *variabilidad intragrupal* a través de la *lambda de Wilks*, de tal forma que el valor de 0.608 que resulta de la combinación de las dos variables es el valor más próximo a 0, por lo tanto el de mayor capacidad de diferenciación sexual, que indica menos traslape entre los grupos; mientras que el valor 0.830, correspondiente a la anchura media, es el más alejado de 0 y más próximo a 1, lo que sugiere mayor parecido entre los grupos y, por lo tanto, menor capacidad de diferenciación. A mayor valor de la *chi cuadrada*, el valor significativo también se incrementa, en el caso particular, el nivel de confiabilidad de la prueba estadística es significativo.

Cuadro 3. Análisis multivariante

<i>Variables</i>	<i>Auto valor</i>	<i>Correlación canónica</i>	<i>Lambda de Wilks</i>	<i>Chi cuadrada</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Significancia</i>
<i>CALMA</i>	0.499	0.577	0.667	75.141	1	0.001
<i>CAAN</i>	0.204	0.412	0.830	33.725	1	0.001
<i>CALMA+CAAN</i>	0.645	0.625	0.608	89.590	2	0.001

La fórmula de la función discriminante es:

$$\text{Discriminante} = b_1X_1 + b_2X_2 - C$$

Los valores de b representan las ponderaciones que permiten que los individuos de cada grupo obtengan puntuaciones máximas, X es la variable a considerar y C es la constante correctora. Se obtuvieron tres funciones discriminantes: dos univariadas o directas y una multivariante o combinatoria (cuadro 4). La longitud del calcáneo tuvo mayor poder discriminatorio con certeza de 76.6 %, mientras que para la anchura media fue de 68.6 %. Combinando las dos medidas se incrementa a 78.1 %. Si el resultado de la ecuación es positivo, es decir, mayor al punto de corte, el grupo de pertenencia del individuo será el sexo masculino, pero si el resultado es negativo o menor al punto de corte, será femenino. Particularmente, se sugiere utilizar la primera y la tercera función, o bien, la segunda con reserva, dado su bajo porcentaje de clasificación correcta.

Cuadro 4. Funciones discriminantes para determinar sexo

<i>Nº.</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Punto de corte</i>	<i>Certeza</i>
1	$S = (0.208) \text{ CALMA} - 15.095$	-0.0075	76.6 %
2	$S = (0.138) \text{ CAAN} - 4.766$	-0.0095	68.6 %
3	$S = (0.175) \text{ CALMA} + (0.065) \text{ CAAN} - 14.990$	-0.0220	78.1 %

CONSIDERACIONES FINALES

El calcáneo es el hueso del tarso más grande y fuerte y suele conservarse en mejor estado, por lo que su análisis métrico es idóneo para determinar el sexo de un esqueleto por medio de una sencilla fórmula discriminante (figura 2).

A pesar de que los porcentajes de certeza de este estudio son menores que los reportados para otras poblaciones en el mismo hueso, la prueba es con-

fiable. Así, se seleccionó una pequeña muestra de 15 esqueletos en buen estado de conservación, provenientes del cementerio de Santiago Apóstol, Zimapán, Hidalgo. La determinación del sexo se realizó mediante la observación morfológica en cráneo y pelvis. En sólo 12 se aplicó el método de funciones discriminantes porque el resto carecía del calcáneo. En todos los casos (cinco femeninos y siete masculinos) la prueba resultó correcta, es decir, el poder de clasificación se incrementó a 99 %.

Sin embargo, se sugiere utilizar únicamente la primera y la tercera función, o bien la segunda con reserva debido a su baja clasificación, lo cual puede resultar en una prueba falible.

Estos resultados pueden aplicarse a situaciones en que el material óseo individual es escaso, el hueso calcáneo está incompleto, o bien, cuando se trata de material aislado, tanto en restos esqueléticos de poblaciones pretéritas como en esqueletos no identificados en contextos forenses. Sin embargo, es preferible que se utilicen en poblaciones óseas biológicamente cercanas.

Agradecimientos

Al maestro Rubén Eduardo López Mendiola por su enseñanza y asesoría en estadística durante el proceso de la tesis de maestría.



Figura 2. Calcáneo derecho, en vista lateral: a) de sexo femenino y b) de sexo masculino. Fotografía de Victor Hugo Sánchez, cortesía Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS

ALEMÁN, I.

- 1997 *Determinación del sexo en restos esqueléticos. Estudio de una población mediterránea actual*, tesis de doctorado, Universidad de Granada, Granada.

BIDMOS, M.

- 2006 Metrical and non-metrical assessment of population affinity from the calcaneus, *Forensic Science International*, 159: 6-13.

BIDMOS, M. A. Y S. A. ASALA

- 2003 Discriminant function sexing of the calcaneus of the South African Whites, *Journal of Forensic Sciences*, 48: 1 213-1 218.
- 2004 Sexual dimorphism of the calcaneus of South African Blacks, *Journal of Forensic Sciences*, 49: 446-450.

BRUZEK, J.

- 1995 Diagnose sexuelle á l'aide de l'analyse discriminante appliquée au tibia, *Antropología Portuguesa*, 13: 93-106.

BUIKSTRA, J. E. Y D. H. UBELAKER (EDS.)

- 1994 Standards for data collection from human skeletal remains, *Archaeological Survey Research Series*, 44, Fayetteville, Arkansas.

DIMICHELE, L. D. Y M. K. SPRADLEY

- 2012 Sex estimation in a Modern American osteological sample using a discriminant function analysis from the calcaneus, *Forensic Science International*, 221: 152.e1-152.e5.

ESCORCIA, L.

- 2008 *Dimorfismo sexual de los esqueletos contemporáneos de Caltimacán, Tasquillo, Hidalgo a partir del análisis discriminante*, tesis de maestría, Posgrado en Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México.

GILES, E. Y O. ELLIOT

- 1963 Sex determination by discriminant function. Analysis of crania, *American Journal of Physical Anthropology*, 21: 53-68.

- GUALDI-RUSSO, E.
2007 Sex determination from the talus and calcaneus measurements, *Forensic Science International*, 171: 151-156.
- INTRONA, JR. F., G. DI VELLA, C. PRIETO CAMPOBASSO Y M. DRAGONE
1997 Sex determination by discriminant analysis of *calcanei* measurements, *Forensic Science International*, 42: 725-728.
- KIM, D. I., Y. S. KIM, U. Y. LEE Y S. H. HAN
2013 Sex determination from calcaneus in Korean using discriminant analysis, *Forensic Science International*, 228: 177.e1-177.e7.
- MURPHY, A. M. C.
2002 The calcaneus: sex assessment of prehistoric New Zealand Polynesian skeletal remains, *Forensic Science International*, 129: 205-208.
2005 The articular surfaces of the hindfoot: Sex assesment of preshistoric New Zealand Polynesian skeletal remains, *Forensic Science International*, 151: 19-22.
- PARDO, A. Y M. RUIZ
2002 *SPSS 11: Guía para el análisis de datos*, McGraw-Hill, Madrid.
- PIMIENTA, M. G.
2000 *Dimorfismo sexual en una población mexicana. Nuevas fórmulas para la determinación de sexo en el esqueleto postcranial*, tesis de doctorado, Universidad de Granada, Granada.
- PICKERING, R. B.
1986 Population differences in the calcaneus as determined by discriminant function analysis, K. J. Reichs (ed.), *Forensic osteology: Advances in the identification of human remains*, CC Thomas Ltd., Springfield, Illinois: 161-170.
- RIEPERT, T., T. DRECHLER, H. SCHILD, B. NAFE Y R. MATTERN
1996 Estimation of sex on the basis of radiographs of the calcaneus, *Forensic Science International*, 77: 133-140.
- THIEME, F. P. Y W. J. SCHULL
1957 Sex determination from the skeleton, *Human Biology*, 29: 242-273.

STEEL, D. G.

- 1976 The estimation of sex on the basis of the talus and calcaneus, *American Journal of Physical Anthropology*, 45: 581-584.

WILBUR, A. K.

- 1998 The utility of hand and foot bones for the determination of sex and the estimation of stature in a prehistoric population from west-central Illinois, *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 180-191.

ZHANG, Z. H., X. G. CHEN, W. K. LI, S. Q. YANG, Z. H. DENG, J. Q. YU, Z. G. YANG
Y L. HUANG

- 2008 Sex determination by discriminant analysis of calcaneal measurements on the lateral digital radiography, *Journal of Forensic Medicine*, 24: 122-125.