



Parametrización de Índice de Arco Mediante Descriptores Simples de Región.

Marlene Elizabeth López Jiménez¹, Raúl Santiago Montero¹, Carlos Alonso Herrera², Ignacio Hernández Bautista¹, David Asael Gutiérrez Hernández¹, Claudia Leticia Díaz González^{1*}

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de León, León, Gto., México

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, Gto., México

*m17240910@itleon.edu.mx, raul.santiago@itleon.edu.mx, ignacio.hernandez@itleon.edu.mx, david.gutierrez@itleon.edu.mx, claudia.diaz@itleon.edu.mx

Resumen— La presente investigación muestra una serie de métodos realizados por la observación y análisis de la medida Índice de Arco (IA, definida en el espacio continuo) en el espacio digital y su robustez ante transformaciones afines, como parámetro para medir el Arco Longitudinal Medial (ALM). La base de datos utilizada para el estudio fue obtenida a partir de 50 niños en un rango de edad entre 7 y 9 años, edad donde está comprendido el desarrollo del ALM. El IA demostró estabilidad en el espacio digital y robustez ante transformaciones de escala, además de mostrar la predominancia del Arco Bajo/Pie Plano en la población infantil propuesta, en correlación con estudios anteriormente presentados en poblaciones infantiles.

Palabras clave—Análisis de forma, Clasificación de Huella de Pie, Índice de Arco, Morfología de Huella de Pie.

I. INTRODUCCIÓN

Según la forma del arco del pie humano, se han identificado 3 morfologías de pie: pie normal, pie plano y pie cavo. Los pies planos y cavos han sido considerados como factores que inciden en la aparición de padecimientos, como: cansancio, lesiones en la zona del arco y tobillo, dolor de espalda, inestabilidad de la zona cervical superior, trastornos y degeneración de caderas, rodillas, entre otros [1-3]. Uno de los temas más controvertidos en el estudio del pie es la medición del Arco Plantar Longitudinal Medial (APLM) y su relación con los padecimientos descritos anteriormente [3, 4]. El estudio funcional del APLM es utilizado como una medida útil, válida y de bajo costo para determinar el tipo de pie. Existen distintos métodos de evaluación del APLM. Entre los principales se encuentran: Índice de Arco Staheli (IAS), Ángulo de Clarke (AC), Índice de Chippaux-Smirak (ICS), Índice de Hernández-Corvo (IHC) e Índice de Arco (IA) entre otros [3, 5, 6]; no obstante el Índice de Arco (IA) ha demostrado ser el más apropiado, por su consistencia al emplear áreas de apoyo plantar y el excluir el área de apoyo de los dedos [4]. Es sabido que entre los 0 y 12 años de edad, la morfología de pie se encuentra en constante cambio [7], detectar el tipo de

huella durante este periodo de edad permite la corrección del APLM a un tipo de huella normal. La escasez de especialistas, la falta de cultura de la población y la dificultad de la evaluación mediante los índices propuestos, complica la detección de la morfología del APLM; por lo tanto, generar un proceso masivo, cuantitativo y de bajo costo que permita la evaluación del APLM, es un problema a atender [8]. Un paso esencial para la atención de este problema es, en primera instancia: generar una medida robusta e invariante a transformaciones geométricas dentro del espacio digital, que pueda ser empleada en dispositivos de análisis masivo e implementado en sistemas de procesamiento de imágenes digitales.

El presente trabajo de investigación parametriza el IA mediante un descriptor de región simple y se muestra su robustez a la transformación afín de escala.

II. METODOLOGÍA

Las condiciones del espacio digital, en donde las formas de los objetos se configuran mediante un conjunto de elementos discretos, tienden a variar con los cambios de resolución de la imagen digital. En esta sección se mostrará el proceso para la segmentación de la zona del APLM y su medición. Además, se da evidencia de que la propuesta es robusta a la transformación afín de escala dentro del espacio digital. Para el desarrollo de la presente investigación se empleó la herramienta software MATLAB® [8].

1) *Base de datos*: Para la realización de los experimentos de esta investigación, se generó una base de datos a partir de 50 niños con un rango de edad entre 7 y 9 años de escuela pública en México. Las imágenes contenidas en la base de datos fueron adquiridas con el uso de un podómetro digital con una cámara web de 15 megapíxeles.

Esta base de datos está conformada por 10 imágenes por individuo bajo el modelo RGB. Posteriormente dichas imágenes fueron binarizadas y divididas bajo el criterio “pie izquierdo” y “pie derecho”, teniendo así un total de 1,000 imágenes para el análisis. Cada imagen tiene una medida de 600x800 píxeles.

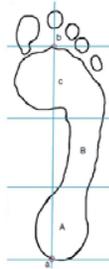


Fig 2. Método de obtención del IA como descriptor de huella plantar.

2) *Segmentación de la imagen*: Los resultados del proceso de segmentación pueden observarse en la fig. 2. La imagen en la fig. 2 a), fue convertida a escala de grises con la relación dada en (1), posteriormente se aplicó el método de segmentación *mean shift* para determinar distintas zonas en la imagen agrupadas por similitud de intensidad que se muestra en la fig. 2 b).

$$\text{Grises} = 0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B \quad (1)$$

$$M_h(x) = 1/n_x \cdot \sum_{x_i \in S_h(x)} x_i - x \quad (2)$$

El método *mean shift* utiliza la composición de tonalidades en cada píxel aplicando el modelo de agrupamiento de *k-medias* [9]. El proceso *mean shift* dado por (2) es calculado para cada píxel x de la imagen donde la región $S_h(x)$ es la esfera con radio h centrada en el píxel a evaluar. El proceso de segmentación está definido por el Algoritmo 1. Los puntos de convergencia son guardados en z_j , para al final etiquetar la totalidad de píxeles con la intensidad del punto de convergencia más cercano.

Algoritmo 1. Método de Segmentación Mean Shift

1. Para cada $j=1 \dots n$ realizar el proceso *mean shift* (2) para x_j y guardar los puntos de convergencia en z_j .
2. Identificar los clústers $\{C_p\}_{p=1 \dots m}$, de puntos de convergencia al unir todos los z_j que están más cerca de 0.5 uno del otro en el dominio conjunto.
3. Para cada $j=1 \dots n$ asignar $L_j = \{p \mid z_j \in C_p\}$

Para la mayoría de las imágenes fueron establecidos 3 puntos de clusterización, para segmentar 3 partes distintas en las imágenes; el fondo, la piel del pie y la piel que ejerce mayor presión sobre la superficie plana del podoscopio, siendo, la última mencionada, la zona de interés.

En la fig. 2 c) se muestra la zona de interés aislada a la cual se le aplicaron operaciones morfológicas de cerradura y apertura; Posteriormente cada imagen fue dividida, como se observa en la fig. 2 d), en tres regiones.

3) *Índice de Arco (IA)*: El IA se define como la relación obtenida dividiendo el área correspondiente al tercio medio de la huella plantar por el área total de la huella plantar, sin considerar la zona de impresión de los dedos [4-5]. En la fig. 1 se puede observar la división de la zona de interés, con un eje principal que va del punto a al punto b y es dividida en segmentos iguales, siendo A el retropié, B el mediopié y C el antepié.

La imagen de la huella se digitaliza y se aísla la zona deseada, creando una imagen binarizada con el área a medir. En ella se traza una línea que cruza por su centro, desde el punto medio del talón y pasando por el punto medio del segundo dedo. La línea formada es entonces dividida en 3 segmentos de igual longitud, la relación está dada por (3).

$$IA = B / (A + B + C) \quad (3)$$

La estructura del Arco se clasifica entonces como Alto (≤ 0.21), Normal ($0.21 < IA < 0.26$), Bajo (≥ 0.26) [4-5].

4) *Transformación Afin de Escala*: Se tomó una muestra de 10 individuos distintos cuyas imágenes fueron sometidas a transformaciones de escala, utilizando la función redimensionar de MATLAB®, disminuyendo hasta el 30% de la resolución original y llegando al 170%, con variaciones de 10% entre cada redimensión. En Fig. 3 se hace una breve descripción de dicho experimento, al redimensionar la imagen.

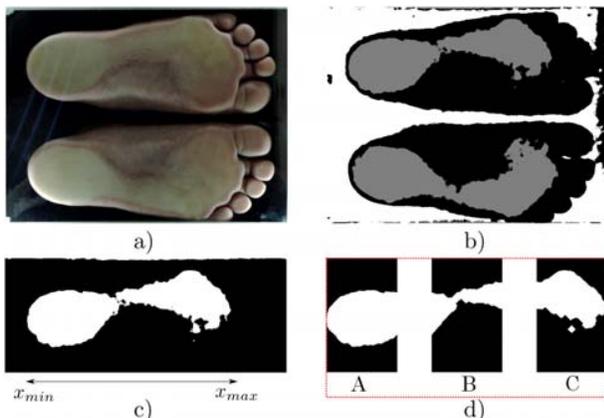


Fig 1. Etapas realizadas para el análisis del IA en la población; a) adquisición de la imagen; b) Segmentación de la imagen mediante *meanshift*; c) Imagen Binarizada y localización del eje mayor de la zona de interés; d) Separación de las zonas representativas del pie según el cálculo de IA.

III. RESULTADOS

A. Extracción del Índice de Arco

Posterior a la segmentación de la imagen, agrupación de los píxeles por zonas de interés y el aislamiento de las mismas bajo el criterio “pie derecho” y “pie izquierdo”, el siguiente paso fue obtener la medida que servirá como criterio para la clasificación de individuos. La Fig. 2 c) muestra la zona aislada a medir, para calcular el IA es necesario identificar el eje más largo de la huella plantar, sin tomar en cuenta la zona de los dedos.

En la Fig. 2 d) se muestra el acotamiento del eje mencionado cuya longitud va desde x_{min} hasta x_{max} (unto mínimo y máximo localizado en el eje x de la imagen). Con respecto al eje trazado, la longitud del mismo es dividida en tres partes iguales, aislando las áreas del retropié, mediopié y antepié, etiquetados como A, B y C respectivamente.



Fig 3. Descripción gráfica del experimento de transformación de escala.

B. Índice de Arco (IA) bajo cambios de resolución

Para la prueba de transformación afín se seleccionaron, por simple experimentación, 10 imágenes de individuos distintos de un solo pie (derecho o izquierdo indistintamente), a cada imagen seleccionada se hará mención como individuo de estudio. Cada imagen fue sometida a 15 transformaciones de escala, tomando en cuenta el 100% que corresponde a la imagen original; como una transformación más.

De la muestra seleccionada para la prueba el IA se obtuvo una media = 0.2381, mediana = 0.2400, desviación estándar = 0.0018 y varianza=1.5312E-06. Estas medidas son promedios obtenidos a partir de las mismas medidas de tendencia central y dispersión del experimento para cada uno de los 10 individuos.

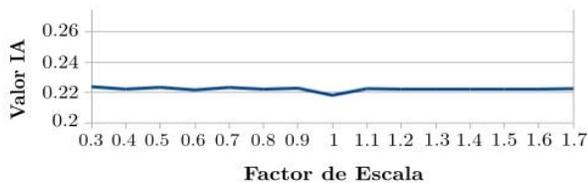


Fig 4. Comparación del valor IA en imágenes sometidas a transformaciones de escala.

En la figura 4 se puede observar el comportamiento de la medida IA obtenida en cada transformación de escala para un solo individuo seleccionado. La variación de la medida tuvo una ligera variación. Con el propósito de determinar diferencias en los resultados obtenidos entre cada transformación de escala, se procedió a comparar los resultados para cada uno de los individuos. Cada uno de los individuos de prueba observados fue sometido bajo la prueba estadística T-Student por separado, la prueba fue realizada con un nivel de significancia establecido del 0.05. Siendo así que para cada una de las pruebas el resultado fue similar, estadísticamente no se presentó diferencia significativa en la medida IA tras ser sometida a transformaciones de escala.

C. Clasificación de tipo de pie de acuerdo al criterio IA

Después de la validación del IA como una medida invariante a transformaciones de escala, se procedió a clasificar el total de las imágenes de la base de datos bajo el criterio de Canavagh y Rodgers [5].

El IA clasifica el tipo de pie en los tres tipos comunes de pie conocidos; Pie Normal, Pie Cavo y Pie Plano como Arco Normal, Arco Alto y Arco Bajo respectivamente [1]. La clasificación fue definida como una clasificación lineal, tomando en cuenta los umbrales de decisión propuestos en [5]. En la tabla 1 podemos observar los resultados obtenidos tras la realización de dicha clasificación.

TABLA1
COMPARACIÓN DE CIFRAS OBTENIDAS EN LOS DISTINTOS GRUPOS DE CLASIFICACIÓN

	Arco Alto	Arco Normal	Arco Bajo
Pie Izquierdo	194	110	196
Pie Derecho	110	155	235
Total	304	265	431
Porcentaje	30.4%	26.5%	43.1%

En la Tabla 1 se puede observar que en el caso de la base de datos empleada, predomina el tipo de pie con Arco Bajo para pie derecho e izquierdo, con el 43.1% de la población total, siendo 1,000 el número total de imágenes evaluadas.

En Fig. 5 podemos observar que los grupos predominantes en la muestra estudiada fueron los tipos de Arco Bajo y Alto, respectivamente, siendo el Arco Normal el menos frecuente. La altura de cada barra representa el número de individuos pertenecientes a cada clase.

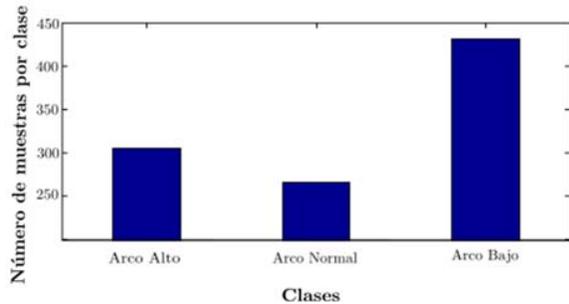


Fig 5. Comparación entre grupos de acuerdo al criterio del IA.

IV. CONCLUSIÓN

En esta investigación se realizó el estudio de la medida Índice de Arco en el espacio digital, la cual demostró ser una medida robusta e invariante a la transformación afín de escala. Se probó estadísticamente que la variación de escala no representa un factor que influya en la clasificación del tipo de pie.

Por otra parte, al ser clasificada la población de niños propuesta, se observó que el tipo de pie con mayor incidencia es “Arco Bajo” con un 43.10%, después el Arco Alto con 30.40% y presentando la menor incidencia el Arco Normal con un 26.5%. En [1,7] establecen una incidencia de Arco Bajo en poblaciones jóvenes (8-12 años; 4-9 años) con un porcentaje de incidencia aproximado de 30-46% y 24-54% respectivamente, por lo tanto los resultados presentados en este trabajo se correlacionan con los resultados obtenidos en dichos artículos realizados en otros países. De los resultados obtenidos se observa que el “Arco Bajo” es el más predominante en la población infantil, en estos casos el tratamiento oportuno bajo atención ortopédica llevará en los mejores casos a la configuración normal del pie.

Mientras que, en la segmentación de la imagen, el algoritmo mean shift dio buenos resultados en la mayoría de los casos, para algunos otros casos específicos fue necesario el cambio de la configuración del parámetro $k=4$ en el algoritmo para encontrar una correcta separación de las regiones de la imagen, para ello es necesario seguir investigando acerca de los cambios en la configuración del mismo u otros algoritmos que lleven a cabo la tarea de segmentación automática, para un estudio masivo, con resultados similares o mejores a los de la propuesta realizada.

El parámetro Índice de Arco es ya una medida confiable para llevar a cabo la clasificación de pies, no obstante como

trabajo futuro es necesario que la muestra poblacional propuesta sea clasificada por al menos un experto con el fin de validar los resultados. Es necesario aumentar el número de individuos en la población para obtener el análisis estadístico con mejor aproximación a los parámetros de la población infantil.

RECONOCIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen a TecNM León-Celaya y a CONACYT por el apoyo económico brindado para la realización de este proyecto. Marlene Elizabeth López Jiménez con CVU 866095 agradece a CONACYT por la beca otorgada para llevar a cabo sus estudios de maestría. Agradece también al TecNM por la oportunidad de realizar la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nikolaidou, M., Boudolos, K.: A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. En Rev. The Foot 16(2) (2006) 82–90. DOI 10.1016/j.foot.2006.02.001
- [2] Gutiérrez-Vilahú, L., Massó-Ortigosa, N., Rey-Abella, F., Costa-Tutusaus, L., Guerra-Balic, M.: Comparative study of plantar footprints in youth with down syndrome. International Medical Review on Down Syndrome 19(3) (2015) 36–42. En prensa: DOI: 10.1016/j.sdeng.2015.05.003
- [3] Razeghi, M., Batt, M.E.: Foot type classification: a critical review of current methods. En Rev. Gait & posture 15(3) (2002) 282–291 DOI: 10.1016/50966-6362(01)00151-5
- [4] Ramírez, C.S.: Análisis de dos métodos de evaluación de la huella plantar: Índice de Hernández Corvo vs. arch index de cavanagh y rodgers. En Rev. Fisioterapia (2017). DOI:10.1016/j.ft.2017.01.002
- [5] Cavanagh, P.R., Rodgers, M.M.: The arch index: a useful measure from footprints. En Rev. Journal of biomechanics 20(5) (1987) 547–551.
- [6] Volpon, J.B.: Footprint analysis during the growth period. En Rev. Journal of pediatric orthopedics 14(1) (1994) 83–85
- [7] Onodera, A.N., Sacco, I. C. N. Morioka, E.H., Souza, P.S., de Sá, M.R., Amadio: What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur? En Rev. The Foot 18(3) (2008) 142–149. DOI: 10.1016/j.foot.2008.03.003
- [8] Guide, MATLAB User's. “The mathworks.” Inc., Natick, MA 5 1998, 333.
- [9] Comaniciu, D., & Meer, P. (2002). Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. En Rev. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 24(5), 603-619. DOI: 10.1109/34.1000236