

Caracterización de imágenes capilares

Capillar images featuring

J.C. Riaño¹ MSc, F.A. Prieto² PhD, E. Sánchez³ PhD y F. Jaramillo⁴ MSc

1. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia. 2. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia. 3. CINVESTAV, Guadalajara, México. 4. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
cjciano@unal.edu.co, faprieto@unal.edu.co, sanchez@gdl.cinvestav.mx, fjaramillo@hotmail.com

Recibido para revisión: 10 de Mayo de 2007, Aceptado: 28 de Noviembre de 2008, Versión final: 9 de Diciembre de 2008

Resumen—Se presenta una metodología para la segmentación y la extracción de características automática de las imágenes capilares. El principal problema que tienen estas imágenes es el bajo contraste entre los capilares y el fondo capilar. Para solucionar este inconveniente se seleccionó automáticamente dentro de diferentes espacios de color los canales con mayor contraste usando análisis de componentes principales sopesadas. La integración del Laplaciano y el crecimiento de regiones fue necesario para realizar la segmentación de los capilares. En cuanto a la extracción de características se tomaron propiedades geométricas por cada capilar y se calcularon algunas propiedades morfológicas tales como: el ancho, el alto, la orientación usando análisis de componentes principales PCA. Puesto que desde el punto de vista clínico la tortuosidad capilar es una característica subjetiva se propuso un índice cuantitativo como la razón entre la dimensión fractal y el área capilar que se llamó índice de tortuosidad. Por técnicas de conteo y medida se calcularon: el perímetro, el área y la distancia entre capilares. La evaluación del proceso se hizo con 3362 capilares obtenidos de 135 imágenes capilares de sujetos que no sufrían Lupus y 250 capilares de personas con Lupus, alcanzando un desempeño superior al 92 por ciento frente segmentaciones manuales realizadas por expertos en dermatología.

Palabras Clave— Imágenes capilaroscópicas, Características morfológicas, Dimensión fractal, Clasificación de patrones.

Abstract—A methodology for segmentation and extraction morphologic feature from nailfold capillaroscopic images is presented. The main problem of the images studied here is the low contrast between the background and the capillaries. For this reason, three fundamental steps were applied in the preprocess: correction of the illumination, highlight and smoothing. For segmenting these images, Laplacians of the most contrasted component in each color space and the connectedness by threshold

(region growth) were integrated. The extraction was carried out using image processing techniques such as principal components analysis (PCA), fractal geometry and tortuosity index (TI); their properties were proven. Tortuosity index is a clinical variable subjective to the expert, it is presented as the ratio between the area and the fractal dimension (FD) of the capillary region. Other features obtained were width and height, density of capillaries, area and perimeter. The work was carried out on 3362 capillaries obtained from 135 images of subjects that do not suffer vascular diseases of the connective tissues and 250 capillaries of patients that have Lupus erythematosus. The performance was 92% related to ground truth segmentation.

Keywords— Capillaroscopic images, Morphologic characteristics, Fractal dimension, Pattern classification

I. INTRODUCCIÓN

La microscopia ungueal es una técnica sencilla no invasiva y económica que permite caracterizar las microcirculaciones del tejido que es in-vivo y in-situ (2). Característica que pueden dar información acerca de las enfermedades vasculares del tejido conectivo tales como Lupus eritematoso, dermatomiositis, Fenómeno de Raynaud y Esclerodermia obtenidas de la imágenes capilares, son: Capilares gigantes y alargados (capilares más largos y anchos de lo normal) pérdida capilar o avascularidades (distancia entre capilares consecutivos mayor a lo normal) desorden del arreglo vascular o polaridad (cambios de orientaciones de los capilares) y finalmente la tortuosidad (cambios abruptos varios giros del

borde).

Desde el punto de vista clínico la zona de interés es la fila capilar más próxima a la cutícula de los dedos anular y corazón de cada mano, en donde se calculan las siguientes densidades:

Densidad capilar: Número de capilares por milímetro (ver Figura 1(a)).

Densidad de capilares gigantes: Número de capilares gigantes por milímetro (ver Figura 1(b)).

Densidad avascular: Número de zonas avasculares por milímetro (ver Figura 1(c)).

Densidad de tortuosidad: Número de capilares con alta tortuosidad por milímetro (ver Figura 1(d)).

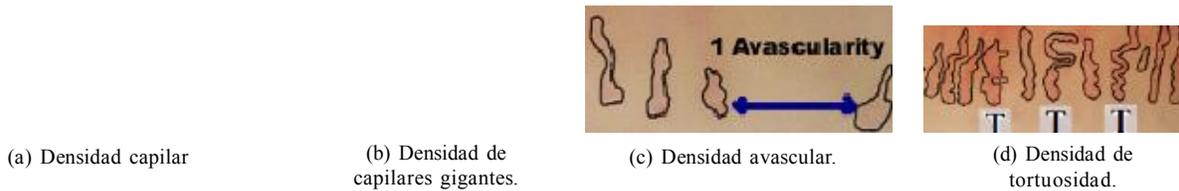


Figura 1. Densidades medidas sobre las imágenes capilares.

Las personas que sufren las enfermedades vasculares del tejido conectivo modifican muchas de estas densidades (4). La medición automática de gran parte de estas densidades no ha sido automatizadas. Sin embargo, en (3) y (1), los autores usan la video capilaroscopia para realizar algunas medidas que han permitido registrar diferencias en cuanto al ancho y alto capilar entre personas que padecen Esclerodermia sistémica.

En (5) se confirma la complejidad que tienen estas imágenes debido a la presencia de ruido, ellos proponen el uso de geometría diferencial y teoría de grafos para eliminar artefactos de la imagen.

Las imágenes capilaroscópicas presentan, en general, las siguientes complicaciones: 1) bajo contraste entre la zona capilar y el fondo de la imagen al estar saturados los canales. 2) Alta relación señal/ruido. 3) Desenfoco debido al movimiento de las personas en el momento de la captura de la imagen. Por lo que se implementó un método de segmentación híbrido integrando el laplaciano de la imagen con crecimiento de regiones.

El artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2, se describe en detalle el proceso de segmentación. En la Sección 3, se explica la extracción de características. Los resultados y discusión son presentados en la Sección 4. Finalmente, en la Sección 5, se concluye el trabajo.

II. SEGMENTACIÓN

El bajo contraste entre la zona capilar y el fondo hacen que se obtengan zonas ruidosa en el proceso de segmentación (ver figura 2(a)). Por esta razón, tres pasos fundamentales en el preproceso fueron aplicados:

1. Suavizado de la imagen, se eliminaron las frecuencias altas al usar la transformada discreta del coseno.
2. Realce del contraste local, el operador propuesto en (7) fue generalizado así: para un canal del espacio RGB dado, y para una ventana V , los valores de intensidad $I(x, y)$ varían entre un valor mínimo I_{min} y un valor máximo I_{max} , se transformó

este rango de intensidad a otro rango $U(x, y)$, definido por $[U_{min}, U_{max}]$. La transformación del rango de intensidades es:

(1)

con $a = \text{mediana}(I)$ y $b = \text{media}(U)$. EL resultado de este realce de contraste se aprecia en la Figura 2(b).

3. Seleccionaron de las mejores componentes (canales) en cuanto al contraste, a partir de diferentes espacios de color, mediante un análisis de componentes principales sopesadas (WPCA) (6). A partir de una base de imágenes capilares segmentadas manualmente, se consideraron 24 componentes de 8 espacios de color: RGB,

HSV, YIQ, YCbCr, LAB, XYZ, UVL, CMYK. Luego de aplicar WPCA los componentes seleccionados fueron: *i*) Componente magenta del espacio CMY (Figura 2(c)), *ii*) Componente a del espacio Lab (Figura 2(d)), y *iii*) Componente

Cr del espacio YCbCr (Figura 2(e)). WPCA es un proceso que sopesa iterativamente las características y rota la nube de datos buscando la orientación que posee la más alta dispersión.

Una vez preprocesadas las imágenes, se procedió a la segmentación de los capilares, utilizando un algoritmo compuesto por los siguientes pasos:

1. Hallar el laplaciano a cada componente de color seleccionada: M , a y Cr . El laplaciano está definido por:

(2)

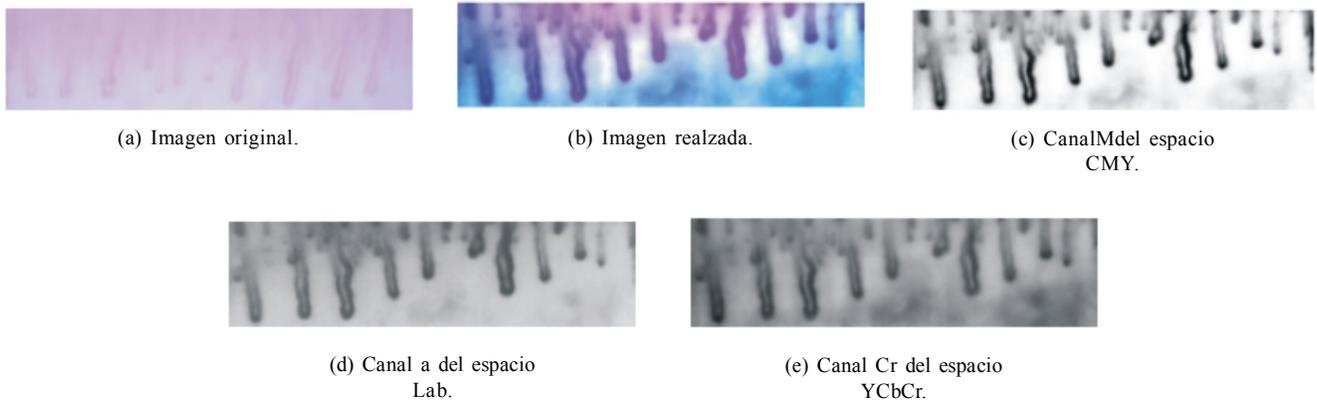


Figura 2: Preproceso aplicado sobre las imágenes capilares.

2. Binarizar y eliminar las partículas que no corresponden a la zona capilar (ver Figura 3).
3. Calcular las semillas para cada zona hallada previamente y realizar el crecimiento de región (un nuevo píxel vecino se adjunta si su intensidad es similar a la de la región ya existente).

La tercera etapa del proceso de segmentación anterior se describe a continuación:

1. Obtención de semillas. Se determinan los centros de gravedad para cada zona de la imagen binarizada. Se consideran dos casos:

Semilla tipo 1. Cuando el centro de gravedad cae en la zona conexas es considerado como la semilla de la región.

(a) Proceso sobre la componente M.

(b) Proceso sobre la componente a.

(c) Proceso sobre la componente Cr.

Figura 3: Eliminación de ruido del laplaciano de las distintas componentes de color de las imágenes capilares.

Semilla tipo 2. Cuando el centro de gravedad no cae en la zona conexas, se considera como semilla el píxel de la región conexas más cercano al centro de gravedad en la dirección horizontal.

2. Eliminación y/o integración de semillas. Para cada semilla se calcula el rectángulo envolvente de la región, en las tres componentes. Si dos rectángulos envolventes se intersectan solo una semilla es utilizada.
 3. Estimación del umbral. Tomando cada semilla y su correspondiente región conexas R, se calcula la intensidad promedio de cada región $\hat{i}(R)$ en la componente M.
 4. Adición de nuevos píxeles. Se agregan a la región los píxeles cuya intensidad pertenece al intervalo $[\hat{i}(R) - \Delta, \hat{i}(R) + \Delta]$.
- El proceso de crecimiento de regiones finaliza cuando se han

recorrido todas las semillas y no se ha encontrado nuevos píxeles para agregar.

La segmentación fue evaluada para dos aumentos 6X y 8X, usando imágenes capilares segmentadas manualmente por un experto en dermatología. Las imágenes fueron de personas sanas y de personas que padecen de Lupus eritematoso. Se evaluó la utilización o no del umbral (paso 3) en el proceso de segmentación. Los resultados sobre personas sanas se presentan en la Tabla 1. Los resultados sobre personas que padecen de Lupus eritematoso se presentan en la Tabla 2. La utilización del umbral en la segmentación incrementa el porcentaje de verdadera aceptación y disminuye el de falso rechazo. Sin embargo, disminuye el porcentaje de verdadera rechazo y aumenta el de falsa aceptación.

Tabla 1. Desempeño de la segmentación de imágenes capilares en personas sin Lupus eritematoso.

Tabla 2. Desempeño de la segmentación de imágenes capilares en personas con Lupus eritematoso.

Magnificación	Verdadera aceptación		Verdadero rechazo		Falsa aceptación		Falso rechazo	
	%Umb.	%Sin umbral	%Umb.	%Sin umbral	%Umb.	%Sin umbral	%Umb.	%Sin umbral
6X	92,26	88,55	93,26	94,95	6,74	5,05	7,74	11,45
8X	89,38	86,92	95,85	96,82	4,15	3,18	10,62	13,08

De lo anterior se concluye que es conveniente considerar el segmentador con umbral

de conexión. En la Figura 4(b) se puede observar el resultado del proceso de segmentación

descrito, aplicado a imágenes capilares.

(a) Imagen original. (b) Imagen segmentada.

Figura 4: Resultado del proceso de segmentación de imágenes capilares.

III. Extracción de características

Como fue mencionado en la introducción, las características morfológicas de las imágenes capilares son usadas por expertos para diagnosticar enfermedades vasculares del tejido conectivo. Sin embargo, características como polaridad, avascularidad y tortuosidad capilar no han sido, a nuestro conocimiento, sistematizadas aun. Usualmente ellas son evaluadas cualitativamente y sus resultados dependen fuertemente de la experiencia del dermatólogo. La falta de similitud al escoger la magnificación la orientación al tomar la imagen, hace que la cuantificación de la tortuosidad sea un problema abierto.

En esta sección definimos, utilizando conceptos de geometría fractal, para calcular un índice de tortuosidad (IT). Posteriormente, utilizando conceptos geométricos y la métrica de Mahalanobis o PCA, se definen algunas características como son: el alto, el ancho y la orientación capilar. Finalmente, se calcula la curvatura del borde capilar utilizando conceptos de geometría diferencial.

A. Índice de Tortuosidad

En la literatura la dimensión fractal *DF* ha sido usada para calcular el grado de complejidad de regiones. Aquí, proponemos su uso para estimar un índice de tortuosidad medido sobre el borde capilar. Presentamos a continuación algunas definiciones necesarias para determinar este índice.

(1). Definición 1:

Sea $\epsilon \in \mathbb{R}^+$ un real positivo, y

un punto en el plano real. Se llamará una bola abierta con centro y radio al siguiente conjunto (ver Figura 5):

$$B_\epsilon(\vec{x}_0) = \left\{ \vec{x} \in \mathbb{R}^2 : \max \{ |x_0 - x| ; |y_0 - y| \} \leq \epsilon \right\}. \tag{3}$$

Se pretende rellenar la imagen con piezas, baldosas o bolas, a este proceso se le denomina cubrimiento.

(2). Definición 2:

Sea una colección de subconjuntos no vacíos de esta colección es un cubrimiento de *A*, si *A* (ver Figura 5). Además, si la colección es disyunta dos a dos, es llamado un cubrimiento abierto disyunto de *A*.

(3). Definición 3:

Sea *A* una colección de todos los cubrimientos disyuntos de *A* con bolas abiertas de radio fijo. Será notado por el menor cardinal de los cubrimientos de *A* con radio fijo. A medida que el radio de las bolas decrece el número de baldosas que cubren la región crece, el cociente entre los logaritmos del número de baldosas que cubren la región versus el radio de la bola, es llamada la dimensión fractal de la región (*DF*).

(4). Definición 4:

Sea la dimensión fractal de *A*, denotada por *DF*(*A*), y definida por la siguiente fórmula:

$$\tag{3}$$

Para la implementación discreta de *DF*, es necesario hacer una regresión lineal del conjunto de pares

. Para reducir el costo computacional de esta regresión, se han considerado radios potencias de 2. La *DF* de la región es determinado por el valor de la pendiente de esta regresión.

Definimos como índice de tortuosidad (*IT*) a la normalización de la *DF* con respecto al área de la región. Este índice nos

permite la separación de capilares que poseen tortuosidad baja de aquellos que tienen tortuosidad alta.

(5). Definición 5:

El índice de tortuosidad IT para una región capilar R es el cociente entre el área y la dimensión fractal de la región. El índice de tortuosidad es invariante a rotaciones, traslaciones y escalamientos.

(3). Definición 8:

La polaridad de la imagen es la desviación estándar de todas las orientaciones capilares presentes en la imagen.

(4). Definición 9:

Una avascularidad o ausencia capilar se presenta cuando la distancia entre los centros de gravedad de capilares contiguos es mayor que el promedio las distancias consecutivas de capilares, más una desviación estándar entre estas distancias.

(5). Definición 10:

Un capilar es gigante si la curvatura a lo largo de su contorno presenta una alta ratade cambio. La curvatura de cada píxel (x, y) es calculada como:

(5)

Figura 5: Características morfológicas de los capilares.

B. Determinación de la orientación, ancho y alto capilar

A partir de los píxeles pertenecientes a una región (R) se halla una elipse que la delimite, utilizando la distancia de mahalanobis y el análisis de componentes principales (PCA). Los autovalores λ_1 y λ_2 , y sus correspondientes autovectores v_1 y v_2 que definen las direcciones principales de la elipse, se utilizan en las siguientes definiciones.

(1). Definición 6:

Para cada región R , el ancho y el alto capilar son relacionados con los ejes mayor y menor de la elipse obtenida. Así, el alto capilar es el doble del mayor valor propio λ_1 , mientras que el ancho capilar es el doble del menor valor propio λ_2 (ver Figura 5(a)).

(2). Definición 7:

La orientación capilar es el ángulo formado por el vector unitario u_1 y el autovector asociado al mayor valor propio λ_1 (ver Figura 5(b)).

IV. RESULTADOS

Para la adquisición de las imágenes se usó una cámara digital Olympus adaptada a un microscopio estereoscópico SZ-TS. Las imágenes procesadas poseen una resolución de 2592x648 con una magnificación de 6X. La iluminación del sistema fue mejorada usando lámparas de leds que no emiten calor (baja emisión en el infrarrojo). Además, se utilizó como patrón de medida una cuadrícula de 0.25 mm. Para evaluar el índice de tortuosidad, se empleó un clasificador K-medias con 5 clases: tortuosidad alta, tortuosidad mediana, tortuosidad media, tortuosidad baja y sin tortuosidad. Este fue aplicado sobre 3362 capilares correspondientes a 135 imágenes de personas sin enfermedad vascular del tejido conectivo. El clasificador arrojó los siguientes resultados: 95% de verdadera aceptación, 99% de verdadero rechazo, 1% de falsa aceptación y 5% de falso rechazo. Se concluye, a partir de este resultado, que el índice de tortuosidad propuesto, es altamente discriminante.

Tabla 3. Valores obtenidos para las características de capilares propuestas.

Adicionalmente a los 3362 capilares segmentados de personas sin enfermedades vasculares del tejido conectivo, se segmentaron 250 capilares de personas con Lupus eritematoso. Los capilares corresponden a la zona periungueal de los dedos tercero y cuarto de cada mano.

En la Tabla 3, se resumen los valores obtenidos para las características de capilares, sobre los dos conjuntos de datos (personas sin enfermedades vasculares del tejido conectivo y personas que tienen Lupus eritematoso). Se presentan los valores mínimos y promedios de las características. Debido a la presencia de capilares gigantes los valores fueron mayores en las imágenes de capilares del conjunto de personas que padecen de Lupus eritematoso.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo permitió confirmar los reportes obtenidos por expertos en dermatología de las diferencias entre en las características como: altura, ancho, polaridad y tortuosidad en imágenes capilaroscópicas de personas sin enfermedades vasculares del tejido conectivo y las mismas características en imágenes capilaroscópicas de personas que poseen Lupus eritematoso.

La medición de estas características, que usualmente se realiza por los expertos de manera subjetiva, se automatizó y cuantificó. La polaridad se obtuvo mediante el uso de PCA y métrica de Mahalanobis, el índice de tortuosidad usando conceptos de la

geometría fractal, la curvatura usando conceptos de la geometría diferencial. El índice *IT* propuesto mostró una eficiencia superior al 92% de acuerdo con la evaluaciones realizadas, permitiendo separar capilares con tortuosidad superior a 0.23.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente soportado por COLCIENCIAS y el CONACYT en el marco del proyecto titula: Desarrollo de una herramienta de apoyo al diagnóstico de enfermedades vasculares del tejido conectivo empleando imágenes capilaroscópicas.

REFERENCIAS

- [1] Bukhari M., Hollis S., Moore T, Jayson M. I. V. and Herrick A. L.: Quantitation of microcirculatory abnormalities in patients with primary Raynaud's phenomenon and systemic sclerosis by video capillaroscopy. *Rheumatology*. Vol. 39, 2000- pp: 506-512.
- [2] Cutolo M., Pizzorni C., Sulli A.: Capillaroscopy. *Best Practice and Research Clinical Rheumatology*. Vol. 19, No. 3. 2005. pp: 437-452.

- [3] Grassi W., Izzo F., Cervini C.: Microvascular involvement in systemic sclerosis: capillaroscopic finding. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. Vol 30, No. 6. 2001. pp: 397-402.
- [4] Jaramillo F., Brieva J. y Sánchez A.: Capilaroscopia: Observaciones en 65 pacientes con desórdenes en el tejido conectivo. *Acta médica colombiana*. Vol. 13, No. 2. 1988. pp: 129-138.
- [5] Sainthillier J., Degouy A., Gharbi T., Pieralli C., and Humbert P.: Geometrical capillary network analysis. *Skin Research and Technology*. Vol 9. 2003. pp: 312-320.
- [6] Sánchez L., Martínez F., Castellanos G., and Salazar A.: Feature Extraction of Weighted Data for Implicit Variable Selection. *Computer Analysis of Images and Patterns, Lecture Notes in Computer Science*. Volume 4673/2007. 2007. pp. 840-847.
- [7] Thomas, W.: Application de la Morphologie Mathématique au diagnostic de la Rétinopathie Diabétique à partir d'images couleur. PhD Thesis, Centre of Mathematical Morphology, Paris School of Mines. September 2003. 234 p.