ISSN (electrónico): 1695-2987 - ISSN (papel): 0003-3170

Angiología

Original

Capilaroscopia en la enfermedad arterial periférica. Estudio de casos y controles de las alteraciones microvasculares en dedos de manos y pies

Nailfold capillaroscopy in peripheral artery disease. A case-control study of microvascular alterations in fingers and toes

Carlos Peñas Juárez[1-3], Francesca Urgnani[1], Elisabet Sarri[3,4], Anna Arnau[4-6]

[1]Servicio de Cirugía Vascular. Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa. Manresa, Barcelona. [2]Programa de Doctorado en Medicina y Ciencias Biomédicas. Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya (UVIC-UCC). Vic, Barcelona. [3]Laboratorio de Reparación y Regeneración Tisular (TR2Lab). Instituto de Investigación e Innovación en Ciencias de la Vida y de la Salud en la Cataluña Central (IRIS-CC). Vic, Barcelona. [4]Facultad de Medicina. Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya (UVIC-UCC). Vic, Barcelona. [5]Unidad de Investigación, Epidemiología y Bioestadística. Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa. Manresa, Barcelona. [6]Grupo de Investigación en Cronicidad de la Cataluña Central (C3RG). Instituto de Investigación e Innovación en Ciencias de la Vida y de la Salud en la Cataluña Central (IRIS-CC). Vic, Barcelona

Resumen

Introducción: la enfermedad arterial periférica (EAP) puede causar cambios en la microcirculación cutánea (MC). La capilaroscopia del pliegue ungueal (CPU) es una técnica no invasiva para evaluar la MC. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar los parámetros morfométricos de los capilares de los dedos de las manos y de los pies en pacientes con EAP.

Material y métodos: estudio piloto de casos y controles que incluyó a 20 pacientes con antecedentes de EAP y 20 controles sanos. Las imágenes de CPU de los dedos de las manos y de los pies se analizaron mediante un *software* basado en algoritmos de aprendizaje profundo. Se evaluaron la densidad capilar, los diámetros y las tipologías morfológicas.

Resultados: en los dedos de las manos los casos mostraron una densidad capilar menor (7,9 capilares/mm [DE: 1,0] frente a 8,6 [DE: 0,5]; $p = 0,008$) y mayor porcentaje de megacapilares (0,7 % [DE: 1,4] frente a 0,2 % [DE: 0,2]; $p = 0,020$). En los dedos de los pies los casos mostraron mayor diámetro capilar en la rama arterial (11,0 µm [DE: 1,5] frente a 9,6 µm [DE: 1,0]; $p = 0,001$) y en la rama venosa (14,7 µm [DE: 2,4] frente a 12,3 µm [DE: 1,7]; $p = 0,001$), menor porcentaje de capilares normales (55,1 % [DE: 18,0] frente a 66,8 % [DE: 11,3]; $p = 0,019$) y mayor porcentaje de capilares dilatados (27,7 % [DE: 15,1] frente a 18,1 % [DE: 10,0]; $p = 0,024$).

Conclusiones: los pacientes con EAP presentan alteraciones microvasculares detectables mediante capilaroscopia, con un patrón diferencial entre los dedos de las manos y de los pies, compatible con la afectación por isquemia crónica de las extremidades inferiores. El análisis automatizado de la capilaroscopia ofrece un método rápido, no invasivo y objetivo para la evaluación de estas alteraciones.

Palabras clave:
Enfermedad arterial periférica.
Microcirculación cutánea.
Capilaroscopia del pliegue ungueal.
Microangiopatía.

Recibido: 7/12/2025 • Aceptado: 10/02/2026

Declaración de disponibilidad de datos: los datos presentados en este estudio están disponibles previa solicitud al autor de correspondencia.

Conflictos de interés: los autores declaran no tener conflictos de interés.

Inteligencia artificial: los autores declaran que han utilizado inteligencia artificial generativa (ChatGPT, OpenAI) como apoyo en la revisión lingüística y mejora del estilo del artículo.Los autores asumen la plena responsabilidad del contenido, de la interpretación de los datos y de las conclusiones del estudio.

Peñas Juárez C, Urgnani F, Sarri E, Arnau A. Capilaroscopia en la enfermedad arterial periférica. Estudio de casos y controles de las alteraciones microvasculares en dedos de manos y pies. Angiología 2026;78(5):216-224

DOI: 10.20960/angiologia.00854

Correspondencia:
Carlos Peñas Juárez. Servicio de Cirugía Vascular.
Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa.
C/ Dr. Joan Soler, 1-3.
08243 Manresa, Barcelona
e-mail: cpenas@althaia.cat

©Copyright 2026 SEACVE y ©Arán Ediciones S.L. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Abstract

Introduction: peripheral artery disease (PAD) may cause changes in cutaneous microcirculation (CM). Nailfold capillaroscopy (NFC) is a non-invasive technique used to assess CM. This study aimed to characterize the morphometric features of nailfold capillaries in fingers and toes of patients with PAD.

Material and methods: this was a pilot case–control study including 20 patients with a history of PAD and 20 healthy controls. NFC images from fingers and toes were analyzed using software based on deep learning algorithms. Capillary density, capillary diameters, and morphological patterns were evaluated.

Results: in the fingers, patients with PAD showed a lower capillary density (7.9 capillaries/mm [SD 1.0] vs 8.6 [SD 0.5]; $p = 0.008$) and a higher percentage of megacapillaries (0.7% [SD 1.4] vs 0.2% [SD 0.2]; $p = 0.020$). In the toes, patients showed larger capillary diameters in the arterial limb (11.0 µm [SD 1.5] vs 9.6 µm [SD 1.0]; $p = 0.001$) and venous limb (14.7 µm [SD 2.4] vs 12.3 µm [SD 1.7]; $p = 0.001$), a lower proportion of normal capillaries (55.1% [SD 18.0] vs 66.8% [SD 11.3]; $p = 0.019$), and a higher proportion of dilated capillaries (27.7 % [SD 15.1] vs 18.1 % [SD 10.0]; $p = 0.024$).

Conclusions: patients with PAD present microvascular alterations detectable by capillaroscopy, with a differential pattern between the fingers and toes, consistent with chronic ischemia affecting the lower extremities. Automated capillaroscopy analysis offers a fast, non-invasive and objective method for evaluating these alterations.

Keywords:
Peripheral artery disease. Cutaneous microcirculation. Nailfold capillaroscopy. Microangiopathy.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad arterial periférica (EAP) es la manifestación de la arteriosclerosis en las extremidades inferiores. Afecta a aproximadamente a 202 millones de personas en el mundo, 40 millones de las cuales viven en Europa. Esta cifra ha aumentado un 23,5 % desde el año 2000, un incremento que se cree atribuible al envejecimiento poblacional y a la creciente prevalencia de factores de riesgo, en particular la diabetes *mellitus* (1). Cuando el déficit de perfusión causado por estenosis u oclusión arterial provoca dolor en reposo o lesiones cutáneas, se denomina isquemia crónica crítica (ICC). Se ha sugerido que las alteraciones en la microcirculación cutánea (MC) podrían influir en el desarrollo de la ICC (2). El estado de la MC no suele considerarse en el diagnóstico y en el tratamiento rutinarios de la EAP, pero puede desempeñar un papel importante en la progresión y en el pronóstico de la enfermedad (3,4) y, por lo tanto, podría comprometer el éxito de una posible revascularización (5). La mayor parte de la investigación sobre la perfusión del pie se ha realizado mediante técnicas no invasivas, como la oximetría transcutánea o la flujometría láser Doppler, que proporcionan evidencia indirecta de anomalías vasculares (6). Muy pocos estudios han descrito las características morfológicas de la microangiopatía en pacientes con EAP. Lamah y cols. (3) confirmaron recientemente una reducción de la densidad capilar en ambos pies en sujetos con ICC en comparación con sujetos con claudicación intermitente.

La capilaroscopia del pliegue ungueal (CPU) es una prueba sencilla, rápida y no invasiva que puede realizarse en consulta externa para evaluar la MC. Permite evaluar la densidad y la morfología de los capilares mediante el análisis del número, su tamaño (diámetro y longitud), su forma y su ubicación (7). Hasta ahora, el análisis de las imágenes obtenidas mediante CPU solo podía realizarse manualmente y dependía en gran medida del observador, basándose más en aspectos cualitativos que cuantitativos, y se ha utilizado principalmente para algunos diagnósticos en el campo de las enfermedades reumáticas (8). Recientemente, gracias a los avances tecnológicos y al uso de herramientas de *software* de aprendizaje profundo, es posible el análisis automatizado de imágenes de miles de capilares, lo que proporciona resultados objetivos y homogéneos. Además, hace la evaluación de la morfología capilar más fácil, rápida, completa y accesible a cualquier profesional (9).

La CPU se ha validado ampliamente en los dedos de las manos como reflejo de la condición de la MC a nivel sistémico; sin embargo, su aplicación en los dedos de los pies ha sido menos estudiada y no forma parte de la práctica clínica habitual (4,10,11). Tampoco se evalúan rutinariamente las alteraciones en la MC, que puede causar una presión arterial disminuida. Los pocos estudios que existen al respecto sugieren que los pacientes con EAP presentan alteraciones de la MC en los dedos de los pies, reportando disminuciones en la densidad capilar (3,4,6), aumentos en los capilares ramificados (4) y reducción de la reactividad (10).

El objetivo principal de este estudio fue determinar la densidad y la morfología de los capilares de los dedos de las manos mediante CPU en pacientes con EAP. El objetivo secundario fue realizar el mismo estudio en los dedos de los pies.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño

Estudio piloto de casos y controles. El grupo de casos estuvo compuesto por 20 pacientes con EAP y el grupo de control por 20 pacientes sanos. Los pacientes fueron emparejados por sexo y edad, con un rango máximo de ± 5 años. El estudio fue aprobado por un Comité Ético de Investigación Clínica independiente el 28 de junio de 2022 (CEI22/65). Todos los sujetos firmaron el consentimiento informado antes de participar. El estudio se realizó de conformidad con la Declaración de Helsinki y cumpliendo todos los requisitos legales y normativos locales.

Sujetos del estudio

Los casos fueron pacientes que habían presentado ICC en algún periodo de su evolución, que habían requerido intervención de revascularización y que en el momento de la realización del estudio se encontraban clínicamente estables. La selección de pacientes con antecedentes de isquemia crítica se realizó con el objetivo de estudiar una población con aterosclerosis avanzada. Igualmente, se estableció como criterio de inclusión que conservaran los dos primeros dedos del pie, ya que fueron los dedos analizados según el protocolo del estudio, al presentar una anatomía ungueal más adecuada que permite obtener imágenes capilaroscópicas más reproducibles y comparables.

Los controles fueron voluntarios sanos sin manifestaciones clínicas de arteriosclerosis en ningún territorio arterial (extremidades, coronario, carotídeo, cerebral, renal, intestinal o aórtico), que no fueran fumadores activos y que no presentaran diagnóstico de diabetes *mellitus* ni dislipemia.

Se establecieron como criterios generales de exclusión para ambos grupos las enfermedades sistémicas que cursan con alteraciones de la MC (por ejemplo, esclerodermia) y la presencia de fenómeno de Raynaud.

Procedimiento

Se realizó una entrevista médica para confirmar que los sujetos cumplían los criterios de inclusión, se les informó sobre la naturaleza del estudio y, en caso de aceptación, se firmó el consentimiento informado. El examen se realizó en la consulta externa a una temperatura ambiente de 20-24 °C. La CPU se realizó en ocho dedos de la mano (excepto los pulgares) y en los dos primeros dedos de los pies, con un aumento de × 250 con el capilaroscopio Smart-G Scope™ (Genie Tech, Seúl, Corea del Sur), tras la aplicación de aceite de inmersión en el pliegue ungueal (Fig. 1). La prueba fue realizada por el mismo especialista vascular, quien obtuvo cuatro imágenes de cada dedo explorado.

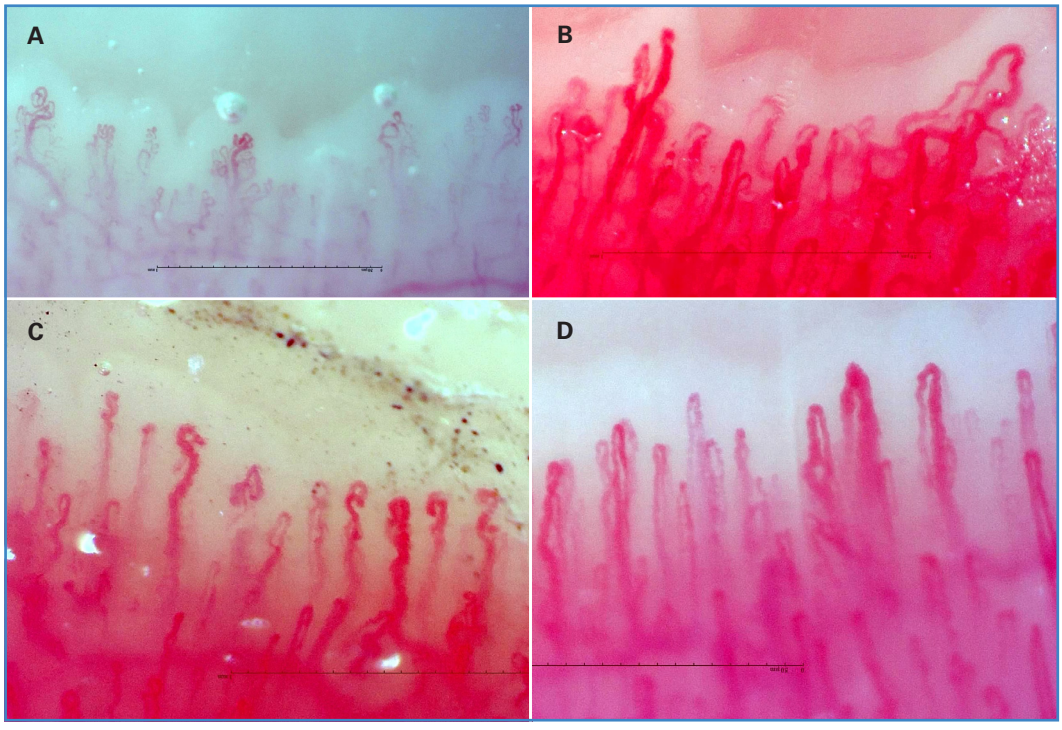

Figura 1. *Morfología anormal de los capilares del pliegue ungueal según la capilaroscopia de pacientes con enfermedad arterial periférica (EAP). A. Anomalías. B. Dilatación. C. Megacapilar. D. Tortuosidad y dilatación.*

El análisis capilar se realizó mediante la plataforma digital Capillary.io® (Zaragoza, España), que integra un sistema de almacenamiento de imágenes capilaroscópicas junto con un *software* de análisis basado en modelos de aprendizaje profundo (9). Este sistema permite localizar y contar los capilares y las hemorragias, clasificar su morfología (normales, tortuosos, ramificados o megacapilares) y medir automáticamente los diámetros del segmento apical y de la rama arterial y venosa del asa capilar. Además, incorpora un modelo auxiliar que puede identificar capilares dilatados incluso en los casos en los que no es posible aplicar las mediciones automáticas de diámetro (12).

Variables dependientes principales y secundarias

Las variables dependientes principales fueron las características morfométricas de los capilares de los dedos de las manos: densidad capilar (capilares/mm), diámetros capilares (apical, arterial y venoso) y aspecto (normal, tortuoso, anómalo, ramificado, dilatado o megacapilar). Las variables dependientes secundarias fueron las mismas características morfométricas de los capilares de los dedos de los pies.

Análisis estadístico

Las variables categóricas se muestran como valores absolutos y frecuencias relativas. Las variables continuas con distribución normal se presentan como medias y desviaciones estándar, y en caso contrario, como medianas junto con los percentiles 25 y 75. La normalidad de las variables continuas se evaluó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

En el análisis bivariado, para el contraste de variables categóricas se utilizaron la prueba de χ^2 de Pearson, la prueba exacta de Fisher o el método exacto de Monte Carlo en las tablas de contingencia 2×2 o $n \times 2$ en las que las frecuencias esperadas eran inferiores a 5. Se utilizaron la prueba *t* de Student para comparar medias con distribución normal y la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para variables continuas con distribución no normal.

Se consideró estadísticamente significativo un valor *p* bilateral < 0,05. El análisis estadístico se realizó con el programa IBM® SPSS® Statistics v.29 (IBM Corporation, Armonk, Nueva York, EE. UU.).

RESULTADOS

La tabla I muestra las características demográficas y clínicas de los grupos de estudio. La edad media de los grupos de casos y controles fue de 63,1 años (DE 9,5) y 63,9 años (DE 12,3), respectivamente, y el 70 % de los participantes en ambos grupos eran varones. Hubo 6 (30 %) fumadores activos y 12 (60 %) exfumadores en el grupo de casos, respecto a ningún fumador activo y 6 (30 %) exfumadores en el grupo control ($p < 0,001$). Respecto a los factores de riesgo cardiovascular clásicos, 14 (70 %) casos y 1 (5 %) control ($p < 0,001$) presentaron hipertensión arterial. Hubo 9 (45 %) pacientes diabéticos y 8 (40 %) con dislipemia en el grupo de casos, pero ninguno en el grupo de controles ($p < 0,001$ y $p = 0,002$, respectivamente). En cuanto a la presencia de otras enfermedades, se encontraron 2 (10 %) pacientes con cardiopatía isquémica, 2 (10 %) con enfermedad pulmonar obstructiva y 3 (15 %) con insuficiencia renal crónica en el grupo de casos.

Características morfométricas de los capilares de los dedos de la mano

Se observó una menor densidad capilar en los dedos de los casos: 7,9 capilares/mm (DE: 1,0) en comparación con 8,6 capilares/mm (DE: 0,5) en los controles ($p = 0,008$). En cuanto a la morfología capilar, los megacapilares fueron más frecuentes en el grupo de casos que en el grupo control: 0,7 % (DE: 1,4) frente a 0,2 % (DE: 0,2), respectivamente ($p = 0,020$) (Tabla II).

Al evaluar las mediciones de los diámetros de los capilares para cada una de las diferentes morfologías, se observó que el diámetro arterial promedio de los megacapilares fue mayor en el grupo de casos: 23,6 µm (DE 11,2) en comparación con 16,2 µm (DE 8,4) en el grupo control ($p = 0,035$) (Tabla III).

Características morfométricas de los capilares de los dedos del pie

A diferencia de la densidad capilar de los dedos de las manos, no se observaron diferencias entre casos y controles en la densidad capilar de los dedos del pie: 7,2 capilares/mm (DE 1,5) en los casos y 7,3 capilares/mm (DE 1,5) en los controles ($p = 0,883$). Sin embargo, los casos presentaron un mayor diámetro promedio de todos los capilares: de 11,0 µm (DE 1,5) en la rama arterial y de 14,7 µm (DE 2,4) en la venosa; respecto a los controles, fueron de 9,6 µm (DE 1,0) ($p = 0,001$) y de 12,3 µm (DE 1,7)

(p = 0,001), respectivamente. También se observó en el grupo de casos un menor porcentaje de capilares normales (55,1 %; DE: 18,0) respecto al grupo control (66,8 %; DE: 11,3) (p = 0,019) y un mayor porcentaje de capilares dilatados (27,7 %; DE: 15,1) respecto a los controles (18,1 %; DE: 10,0) (p = 0,024) (Tabla IV).

Tabla I. Características basales según grupos de estudio

	Casos n = 20	Controles n = 20	p
Demográficos			
Hombres	14 (70,0)	14 (70,0)	1,000*
Edad (años)	63,1 (DE: 9,5)	63,9 (DE: 12,3)	0,821†
Constitución			
Peso (kg)	82,1 (DE: 26,1)	74,8 (DE: 13,0)	0,270†
Altura (cm)	170,4 (DE: 9,3)	170,5 (DE: 11,7)	0,964†
IMC (kg/m^2)	28,1 (DE: 8,3)	25,7 (DE: 3,8)	0,252†
Tabaco			
No fumador	2 (10,0)	14 (70,0)	< 0,001‡
Exfumador	12 (60,0)	6 (30,0)	
Fumador activo	6 (30,0)	0 (0,0)	
Factores de riesgo cardiovascular			
Hipertensión arterial	14 (70,0)	1 (5,0)	< 0,001*
Diabetes *mellitus*	9 (45,0)	0 (0,0)	< 0,001§
Dislipemia	8 (40,0)	0 (0,0)	0,003§
Cardiopatía isquémica	2 (10,0)	0 (0,0)	0,487§
Enfermedad pulmonar obstructiva	2 (10,0)	0 (0,0)	0,487§
Ictus isquémico	0 (0,0)	0 (0,0)	NA
Insuficiencia renal crónica	3 (15,0)	0 (0,0)	0,231§

Datos expresados como: n *(%), media (DE) o mediana (percentil 25 - percentil 75). *Prueba* χ^2 *de Pearson; †Prueba* t *de Student; ‡Método exacto de Monte Carlo; §prueba exacta de Fisher.*

Tabla II. Resultados de la capilaroscopia en los dedos de las manos: densidad, diámetro apical, diámetro de la rama arterial, diámetro de la rama venosa, porcentaje de los diferentes tipos de capilares, hemorragias y longitud total estudiada

	Casos n = 20		Controles n = 20		Diferencia de medias (IC 95 %)	p
	Media (DE)	Mediana (p25-p75)	Media (DE)	Mediana (p25-p75)		
Densidad (cap/mm)	7,9 (1,0)	7,8 (7,2-8,7)	8,6 (0,5)	8,7 (8,4-9,1)	0,69 (de 0,2 a 1,1)	0,008*
Diámetros (µm)						
Apical	17,7 (3,0)	17,1 (15-20,0)	17,3 (2,0)	17,3 (15,8-19,1)	-0,41 (de -2,0 a 1,2)	0,978†
Rama arterial	10,3 (1,5)	9,9 (9,4-11,1)	10,1 (1,2)	9,9 (9,1-10,9)	-0,22 (de -1,1 a 0,7)	0,610*
Rama venosa	13,3 (2,0)	12,5 (12-14,7)	12,9 (1,5)	12,6 (11,7-13,9)	-0,49 (de -1,6 a 0,6)	0,570†
Tipos capilares (%)						
Normal	60,1 (15,9)	60,8 (49,5-72,9)	60,8 (10,2)	62,0 (54,4-68,7)	0,63 (de -8,0 a 9,2)	0,883*
Tortuosos	16,5 (6,9)	14 (12,3-20,0)	16,1 (6,1)	14,8 (11,8-19,7)	-0,34 (de -4,5 a 3,8)	0,869*
Anómalos	0,3 (0,4)	0,2 (0 -0,5)	0,2 (0,4)	0,0 (0,0-0,2)	-0,09 (de -0,3 a 0,1)	0,225†
Dilatados	27,7 (17,6)	21,8 (14,6-42,3)	27,1 (12,3)	25,6 (17,6-39,1)	-0,59 (de -10,3 a 9,1)	0,766†
Megacapilares	0,7 (1,4)	0,3 (0,2-0,5)	0,2 (0,2)	0,2 (0,0-0,2)	-0,56 (de -1,2 a 0,1)	0,020†
Hemorragias	12,1 (14,0)	10,0 (3,5-15,0)	8,5 (0,6)	4,0 (1,0-11,5)	-3,55 (de -12,6 a 5,6)	0,098†
Longitud total (mm)	67,2 (13,8)	63,8 (60,4-68,4)	68,5 (8,9)	66,7 (65,2-68,7)	1,35 (de -6,1 a 8,8)	0,079†

**Prueba* t *de Student; †Prueba U de Mann-Whitney.*

Tabla III. Diámetro apical, diámetro de la rama arterial y diámetro de la rama venosa de los diferentes tipos de capilares de los dedos de las manos medidos en µm

	Casos (*n* = 20)		Controles (*n* = 20)		Diferencia de medias (IC 95 %)	*p*
	Media (DE)	Mediana (p25-p75)	Media (DE)	Mediana (p25-p75)		
Normales						
Apical	14,4 (0,9)	14,6 (13,6-15,1)	14,5 (0,9)	14,7 (13,9-15,2)	0,16 (de -0,4 a 0,7)	0,595*
Rama arterial	9,1 (0,8)	8,9 (8,3-9,5)	9,1 (0,8)	9,0 (8,5-9,6)	0,60 (-0,5 a 0,6)	0,814*
Rama venosa	11,6 (0,8)	11,3 (11-12,1)	11,6 (0,9)	11,7 (10,9-12,1)	0,15 (de -0,5 a 0,6)	0,917*
Tortuosos						
Apical	17,8 (3,4)	16,7 (15,8-20,2)	17,1 (2,3)	17,2 (15,2-18,9)	-0,73 (de -2,6 a 1,1)	0,655†
Rama arterial	12,1 (1,7)	11,5 (11-12,7)	11,7 (1,5)	11,4 (10,4-13,1)	-0,39 (-1,4 a 0,6)	0,447*
Rama venosa	15,1 (2,4)	14,4 (13,4-16,8)	14,3 (1,8)	14,3 (12,6-15,9)	-0,84 (de -2,2 a 0,5)	0,353†
Dilatados						
Apical	24,9 (1,3)	24,7 (23,9-25,5)	24,3 (0,8)	24,3 (23,6-24,7)	-0,63 (de -1,3 a 0,1)	0,083*
Rama arterial	11,8 (1,6)	11,4 (10,7-12,8)	11,5 (1,3)	11,3 (10,6-12,6)	-0,32 (de -1,3 a 0,6)	0,506*
Rama venosa	16 (1,9)	15,7 (14,7-17,4)	15,1 (1,5)	14,9 (13,9-16,3)	-0,91 (de -2,0 a 0,2)	0,106*
Megacapilares						
Apical	43,4 (20,9)	52,8 (24,5-57,9)	50,6 (14,9)	53,8 (51,0-60,0)	7,20 (de -7,7 a 22,1)	0,341†
Rama arterial	23,6 (11,2)	18 (17,4-27,4)	16,2 (8,4)	13,4 (11,4-17,3)	-7,40 (de -16,6 a 1,8)	0,035†
Rama venosa	37,2 (12,8)	35,8 (27,4-44,7)	26,8 (15,2)	18,1 (17,5-34,7)	-10,39 (de -23,1 a 2,4)	0,105*

**Prueba* t *de Student; †Prueba U de Mann-Whitney.*

Tabla IV. Resultados de la capilaroscopia en los dedos de los pies: densidad, diámetro apical, diámetro de la rama arterial, diámetro de la rama venosa, porcentaje de los diferentes tipos de capilares, hemorragias y longitud total estudiada

	Casos (*n* = 20)		Controles (*n* = 20)		Diferencia de medias (IC 95 %)	*p*
	Media (DE)	Mediana (p25-p75)	Media (DE)	Mediana (p25-p75)		
Densidad (cap/mm)	7,2 (1,5)	7,3 (6,1-8,3)	7,3 (1,5)	7,6 (6,0-8,4)	0,07 (de -0,89 a 1,0)	0,883*
Diámetros (µm)						
Apical	17,7 (2,8)	16,4 (15,9-19,7)	16,4 (2,0)	16,2 (14,9-17,9	-1,36 (de -2,94 a 0,2)	0,136†
Rama arterial	11,0 (1,5)	11,1 (10,2-11,8)	9,6 (1,0)	9,9 (8,7-10,4)	-1,44 (de -2,26 a -0,6)	0,001*
Rama venosa	14,7 (2,4)	14,9 (13,1-16,1)	12,3 (1,7)	12,3 (11,0-13,4)	-2,36 (de -3,72 a -1,0)	0,001*
Tipos capilares (%)						
Normal	55,1 (18,0)	56,8 (41,8-69,7)	66,8 (11,3)	70,5 (56,3-74,5)	11,73 (de 2,05 a 21,4)	0,019*
Tortuosos	19,7 (11,1)	21,2 (12,0-27,9)	14,7 (7,2)	14,1 (10,9-17,6)	-5,04 (de -11,05 a 0,98)	0,098*
Anómalos	3,6 (8,8)	1,1 (0,0-3,2)	3,2 (5,4)	1,0 (0,0-2,8)	-0,33 (de -5,02 a 4,3)	0,923†
Dilatados	27,7 (15,1)	27,9 (15,4-38,0)	18,1 (10,0)	16,1 (10,9-21,3)	-9,56 (de -17,78 a -1,3)	0,024*
Megacapilares	0,7 (1,0)	0,0 (0,0-1,0)	0,4 (0,8)	0,0 (0,0-0,3)	-0,322 (de -0,92 a 0,2)	0,162†
Hemorragias	2,5 (3,4)	1,5 (0,0-3,5)	3,3 (3,1)	2,0 (1,0-6,0)	0,80 (de -1,26 a 2,8)	0,222†
Longitud total (mm)	15,5 (9,7)	15,3 (7,8-22,2)	18,2 (8,4)	19,1 (11,7-23,9)	2,73 (de -3,10 a 8,5)	0,350*

**Prueba* t *de Student; †Prueba U de Mann-Whitney.*

En los capilares normales se observó un mayor diámetro medio tanto de la rama arterial (9,8 µm; DE: 1,0) como de la venosa (12,4 µm; DE: 1,2) en el grupo de casos; el diámetro medio arterial fue de 8,8 µm (DE: 0,7) ($p < 0,001$) y de 11,1 µm el venoso (DE: 1,2) ($p = 0,001$) en el grupo control, respectivamente. En los capilares dilatados, la rama arterial presentó un diámetro mayor en el grupo de casos (12,8 µm; DE: 1,9) que en el grupo control (11,4 µm; DE: 2,0) ($p = 0,037$). El segmento apical y la rama arterial de los capilares tortuosos también tuvieron diámetros mayores en el grupo de casos, de 17,8 µm (DE 3,1) y 12,4 µm (DE 2,2), respectivamente, frente a 15,7 µm (DE 2,8) ($p = 0,037$) y 11,0 µm (DE 1,1) ($p = 0,019$) en el grupo control, respectivamente (Tabla V).

DISCUSIÓN

La CPU realizada en los dedos de las manos mostró una menor densidad capilar y un mayor porcentaje de megacapilares en los casos que en los controles. La CPU realizada en los dedos de los pies reveló un menor porcentaje de capilares normales y un mayor porcentaje de capilares dilatados en el grupo de casos. En los pies, los casos presentaron ramas arteriales y venosas más gruesas en los capilares normales, así como ramas arteriales y segmentos apicales más gruesos en los capilares dilatados respecto a los controles.

Nuestros resultados sugieren que los pacientes con EAP presentan alteraciones en la microcirculación. Wijnand y cols. (13) confirmaron hallazgos similares al describir una menor densidad capilar y un mayor porcentaje de megacapilares en pacientes con ICC. Sin embargo, a diferencia de nuestro estudio, no observaron diferencias en el diámetro promedio de los capilares. También describieron ramificaciones anormales, alteraciones que no hemos podido corroborar en nuestro estudio.

La presencia de megacapilares en los dedos de las manos puede estar asociada a disfunción endotelial, que, combinada con una menor densidad capilar, puede significar un deterioro en la perfusión efectiva de los tejidos. Estos cambios también se observan en la esclerodermia sistémica (14), lo que posiblemente conlleve un peor pronóstico en pacientes con EAP y favorezca el desarrollo de ICC (15).

Tabla V. Diámetro apical, diámetro de la rama arterial y diámetro de la rama venosa de los diferentes tipos de capilares de los dedos de los pies medidos en µm

	Casos ($n = 20$)		Controles ($n = 20$)		Diferencia de medias (IC 95 %)	*p*
	Media (DE)	Mediana (p25-p75)	Media (DE)	Mediana (p25-p75)		
Normales						
Apical	14,6 (1,1)	15,0 (14,3-15,4)	14,0 (1,2)	14,1 (13,3-14,9)	-0,60 (de -1,34 a 0,14)	0,109*
Rama arterial	9,8 (1,0)	9,6 (9,2-10,3)	8,8 (0,7)	8,9 (8,2-9,2)	-1,01 (de -1,56 a -0,45)	< 0,001*
Rama venosa	12,4 (1,2)	12,6 (11,9-13,1)	11,1 (1,2)	10,9 (10,2-12,1)	-1,35 (de -2,13 a -0,56)	0,001*
Tortuosos						
Apical	17,8 (3,1)	17,8 (15,9- 19,8)	15,7 (2,8)	15,7 (14,4-18,5)	-2,08 (de -4,04 a -0,13)	0,037*
Rama arterial	12,4 (2,2)	12,3 (11,0-13,4)	11,0 (1,1)	11,4 (10,1-11,8)	-1.41 (de -2,58 a -0,25)	0,019*
Rama venosa	15,8 (2,8)	16,1 (13,7-17,3)	14,2 (1,7)	13,9 (13,1 – 15,1)	-1,54 (de -3,15 a 0,08)	0,061*
Dilatados						
Apical	24,2 (2,5)	24,2 (22,9-25,8)	24,3 (2,7)	23,8 (23,0-24,8)	0,14 (de -1,58 a 1,86)	0,759†
Rama arterial	12,8 (1,9)	12,5 (11,9-14,2)	11,4 (2,0)	11,4 (10,5-12,9)	-1,38 (de -2,68 a -0,09)	0,037*
Rama venosa	18,1 (3,9)	17,9 (16,5-19,6)	16,0 (3,6)	15,7 (13,5-17,9)	-2,05 (de -4,54 a 0,45)	0,105*
Megacapilares						
Apical	50,1 (13,7)	55,6 (45,7-58,2)	50,4 (15,5)	53,6 (50,2-59,4)	0,29 (de -16,70 a 17,28)	0,846†
Rama arterial	18,2 (4,2)	17,5 (15,6-19,0)	13,5 (3,0)	15,3 (11,8-15,6)	-4,68 (de -9,98 a 0,62)	0,076*
Rama venosa	49,5 (30,6)	32,0 (26,6-75,5)	29,4 (26,1)	21,2 (14,9-22,8)	-20,12 (de -61,58 a 21,34)	0,059†

**Prueba t de Student; †Prueba U de Mann-Whitney.*

No encontramos diferencias en la densidad capilar de los dedos de los pies entre casos y controles, a diferencia de lo observado en las manos. Este hallazgo podría deberse a un efecto neoangiogénico compensador de la isquemia presente en los pies y ausente en las manos. Asimismo, la presencia de un mayor diámetro en las ramas arterial y venosa podría ejercer un efecto compensador de la isquemia en los pies, probablemente relacionado con un fenómeno de vasodilatación, lo que podría explicar el mayor porcentaje de capilares dilatados observado.

Nuestros resultados contrastan con estudios previos que describen una reducción de densidad capilar en los pies de pacientes con EAP (3,6), especialmente en aquellos con ICC. El mayor diámetro de las ramas capilares observado en nuestro estudio podría reflejar este intento de compensación. En concordancia, también registramos un porcentaje más elevado de capilares dilatados. Jung P y cols. (4) no encontraron esta mayor presencia de capilares dilatados en pacientes con EAP, pero sí informaron de una mayor presencia de otros tipos de capilares, como los ramificados. En nuestro caso, sí hemos registrado un mayor porcentaje de capilares anómalos y tortuosos, pero estas diferencias no se han demostrado estadísticamente significativas.

Ubbink y cols. (10) compararon a pacientes diabéticos en diferentes etapas de EAP con pacientes sin EAP para evaluar el efecto agravante de la diabetes sobre la isquemia de las piernas. Observaron que, en pacientes diabéticos, la densidad capilar fue mayor en los dedos de los pies con pacientes con antecedentes de EAP que en aquellos sin ella. Sin embargo, los pacientes con ICC activa presentaron reducciones en la densidad capilar, que fueron más marcadas en pacientes diabéticos. Nuestros resultados podrían corroborar estos hallazgos considerando que, aunque nuestros pacientes habían sufrido ICC en algún momento, la mayoría presentaba claudicación intermitente en el momento del estudio. No obstante, en ese mismo estudio se observó un mayor diámetro capilar en pacientes diabéticos sin EAP. En pacientes con EAP, no se observaron diferencias de diámetro entre diabéticos y no diabéticos. En este punto, nuestros resultados difieren de los de Ubbink y cols. Sin embargo, cabe destacar que no analizamos los resultados en el subgrupo de pacientes diabéticos debido al pequeño tamaño de la muestra, y en estos, la literatura reporta diferencias morfológicas, como mayor tortuosidad, zonas avasculares, ectasias o capilares con formas irregulares (16), especialmente en aquellos con complicaciones como la retinopatía diabética (17,18). Por lo tanto, la estratificación del análisis entre pacientes diabéticos y no diabéticos es, sin duda, un aspecto a desarrollar en el futuro.

Una limitación del estudio es la exclusión de pacientes con diabetes *mellitus* o dislipemia en el grupo control, criterio adoptado con el objetivo de disponer de un grupo de referencia con una microcirculación lo más preservada posible. Sin embargo, esta decisión metodológica puede limitar la generalización de los resultados y, en futuros estudios, será necesario ampliar el tamaño muestral y estratificar los hallazgos capilaroscópicos en función de los diferentes factores de riesgo cardiovascular y grado de isquemia.

Aunque el pequeño número de pacientes incluidos es una limitación, una fortaleza de nuestro estudio es que implicó un análisis automatizado de las características capilares basado en modelos de aprendizaje profundo. Este enfoque permite el análisis de un gran número de capilares por paciente y representa un avance con respecto a estudios previos en los que los análisis capilares se realizaban a simple vista y las mediciones se realizaban manualmente por diferentes especialistas en capilaroscopia. Esto podría explicar algunas de las discrepancias encontradas con respecto a nuestro estudio. Creemos que realizar el análisis de forma automatizada proporciona mayor fiabilidad y precisión en las mediciones, además de reducir los posibles sesgos derivados de la participación de diferentes observadores.

Estos resultados podrían ser útiles en la práctica clínica, ya que proporcionarían una herramienta adicional para evaluar el pronóstico de la EAP o la respuesta a diferentes tratamientos de forma rápida y no invasiva. Por lo tanto, creemos que ampliar el tamaño de la muestra para estratificar los diferentes hallazgos según el grado de isquemia y los factores de riesgo cardiovascular es un aspecto a tener en cuenta para futuros estudios.

CONCLUSIÓN

Los pacientes con EAP presentan alteraciones tanto en la microcirculación como en los grandes vasos. Estas alteraciones microvasculares son detectables mediante la capilaroscopia del pliegue ungueal y difieren entre los dedos de las manos y los de los pies, muy probablemente como consecuencia del efecto de la isquemia en las extremidades inferiores.

El análisis automatizado de la capilaroscopia se perfila como una herramienta no invasiva, objetiva y potencialmente útil para la evaluación de la microcirculación en la EAP, tanto en el ámbito clínico como en la investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

C. P. es el responsable de la conceptualización del estudio. C. P., E. S. y A. A. han diseñado el estudio y han supervisado todos los aspectos de su producción. C. P. y F. U. han sido los responsables de la adquisición de datos. A. A. ha realizado el análisis estadístico de los datos. C. P., F. U., E. S. y A. A. han interpretado los hallazgos y han contribuido a la redacción de la primera versión.

FINANCIACIÓN

Plan de Doctorados Industriales del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya (Expediente: 2023 DI 0110).

BIBLIOGRAFÍA

1. Conte MS, Bradbury AW, Kolh P, White JV, Dick F, Fitridge R, et al. Global vascular guidelines on the management of chronic limb-threatening ischemia. J Vasc Surg 2019;69(6S):3S-125S.e40.
2. Ubbink DT, Spincemaille GH, Reneman RS, Jacobs MJ. Prediction of imminent amputation in patients with non-reconstructible leg ischemia by means of microcirculatory investigations. J Vasc Surg 1999;30(1):114-21.
3. Lamah M, Mortimer PS, Dormandy JA. Quantitative study of capillary density in the skin of the foot in peripheral vascular disease. Br J Surg 1999;86(3):342-8.
4. Jung P, Trautinger F. Capillaroscopy of toes. J Dtsch Dermatol Ges J Ger Soc Dermatol 2013;11(9):855-66.
5. Behroozian A, Beckman JA. Microvascular Disease Increases Amputation in Patients with Peripheral Artery Disease. Arterioscler Thromb Vasc Biol 2020;40(3):534-40.
6. Rossi M, Carpi A. Skin microcirculation in peripheral arterial obliterative disease. Biomed Pharmacother 2004;58(8):427-31.
7. Cutolo M, Smith V. State of the art on nailfold capillaroscopy: a reliable diagnostic tool and putative biomarker in rheumatology? Rheumatol Oxf Engl 2013;52(11):1933-40.
8. Cutolo M, Sulli A, Smith V. Assessing microvascular changes in systemic sclerosis diagnosis and management. Nat Rev Rheumatol 2010;6(10):578-87.
9. Gracia Tello B, Ramos Ibáñez E, Fanlo Mateo P, Sáez Cómet L, Martínez Robles E, Ríos Blanco JJ, et al. The challenge of comprehensive nailfold videocapillaroscopy practice: a further contribution. Clin Exp Rheumatol 2022;40(10):1926-32.
10. Ubbink DT, Kitslaar PJ, Tordoir JH, Reneman RS, Jacobs MJ. Skin microcirculation in diabetic and non-diabetic patients at different stages of lower limb ischaemia. Eur J Vasc Surg 1993;7(6):659-56.
11. Lambova SN, Muller-Ladner U. Nailfold Capillaroscopy of Fingers and Toes - Variations of Normal. Curr Rheumatol Rev 2018;14(1):28-35.
12. Gracia Tello BC, Ramos Ibáñez E, Sáez Comet L, Guillén del Castillo A, Simeón Aznar CP, Selva-O'Callaghan A, et al. External clinical validation of automated software to identify structural abnormalities and microhaemorrhages in nailfold videocapillaroscopy images. Clin Exp Rheumatol 2023;41(8):1605-11.
13. Wijnand JGJ, Van Rhijn-Brouwer FCC, Spierings J, Teraa M, De Borst GJ, Verhaar MC. Nailfold Capillaroscopy in Patients with Peripheral Artery Disease of the Lower Limb (CAPAD study). Eur J Vasc Endovasc Surg 2022 Jun;63(6):900-1.
14. Bobeica C, Niculet E, Musat CL, Craescu M, Stefanescu BI, Dinu C, et al. Paraclinical Aspects in Systemic Sclerosis. Int J Gen Med 2022;15:4391-8.
15. Poredos P. Involvement of microcirculation in critical ischemia: how to identify it? Int Angiol 2021;39(6). Disponible en: https://www.minervamedica.it/index2.php?show = R34Y-2020N06A0492
16. Lisco G, Cicco G, Cignarelli A, Garruti G, Laviola L, Giorgino F. Computerized Video-Capillaroscopy Alteration Related to Diabetes Mellitus and Its Complications. Adv Exp Med Biol 2018;1072:363-8.
17. Uyar S, Balkarlı A, Erol MK, Yeşil B, Tokuç A, Durmaz D, et al. Assessment of the Relationship between Diabetic Retinopathy and Nailfold Capillaries in Type 2 Diabetics with a Noninvasive Method: Nailfold Videocapillaroscopy. J Diabetes Res 2016;2016:7592402.
18. Barchetta I, Riccieri V, Vasile M, Stefanantoni K, Comberiati P, Taverniti L, et al. High prevalence of capillary abnormalities in patients with diabetes and association with retinopathy. Diabet Med 2011;28(9):1039-44.