

Artigo Original

Autores:

Claudia M. Duarte de Sá Guimarães¹
Luciane Fachin Balbinot¹
Marcos Leal Brioschi^{1,2}

¹ Escola de Educação Permanente, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (EEP/HCFMUSP) – São Paulo (SP), Brasil.

² Departamento de Neurologia, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (HCFMUSP) – São Paulo (SP), Brasil.

Correspondência:

Claudia Maria Duarte de Sá Guimarães
Av Nossa Sra. De Copacabana, 435
Sala 903
Copacabana, Rio de Janeiro - RJ
Email: doctorsa@uol.com.br

Data de recebimento: 01/03/2018

Data de aprovação: 06/06/2018

Trabalho realizado na Pós-Graduação em Termologia e Termografia Médica, Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

Suporte financeiro: Nenhum.

Conflito de interesse: Nenhum.



Imagens infravermelhas na avaliação do pé diabético

Infrared images in the evaluation of the diabetic foot

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.5935/scd1984-8773.20181021154>

RESUMO

Introdução: O diabetes é patologia frequente, de distribuição universal cuja incidência do tipo 2 vem aumentando com a obesidade. A identificação precoce das patologias de origem dermatológica, vascular, ortopédica e neurológica auxilia o diagnóstico e o tratamento do pé diabético.

Objetivo: Avaliar por termografia os pés de pacientes pré-diabéticos e diabéticos portadores de onicomicose, com o intuito de identificar o comprometimento vascular, neurológico e ortopédico, bem como acompanhar a evolução clínica.

Métodos: Captação de imagens infravermelhas basais e após teste de estímulo ao frio com sensor infravermelho em ambiente controlado.

Resultados: Esse exame possibilitou a suspeita de neuropatia periférica de fibras finas, áreas de pressão de calçados e avaliação da progressão do pé de Charcot.

Conclusões: O exame por meio de imagens infravermelhas associado ao exame dermatológico pode ser instrumento propedêutico para a identificação precoce de alterações vasomotoras nas plantas dos pés, também em pacientes assintomáticos

Palavras-Chave: Diabetes Mellitus; Pé diabético; Termografia

ABSTRACT

Introduction: Diabetes is a frequent pathology that has universal distribution. The incidence of the type 2 of this condition has been increasing with obesity. Early detection of dermatological, vascular, orthopedic and neurological origin pathologies helps the diagnosis and treatment of the diabetic foot.

Objective: To evaluate the feet of pre-diabetic and diabetic patients bearers of onychomycosis using thermography, aiming at identifying the vascular, neurological and orthopedic impairment, as well as following up the clinical development.

Methods: Capture of infrared images at baseline and after cold stimulus test, using an infrared sensor in a controlled environment.

Results: This examination allowed the suspicion of peripheral neuropathy of fine fibers to be raised, as well as to verify areas of footwear pressure and to evaluate the progression of Charcot foot.

Conclusions: Infrared imaging associated with dermatological examination can be a propaedeutic tool for the early identification of vasomotor alterations in the soles, even in asymptomatic patients.

Keywords: Diabetic foot; Diabetes Mellitus; Thermography

INTRODUÇÃO

O diabetes mellitus (DM) é enfermidade crônica que afeta 18,6% da população idosa no Brasil. Devido a sua incidência elevada, essa doença é utilizada como modelo para o estudo de doenças nos pés.¹ As alterações dermatológicas nos pés são precoces e antecedem a hiperglicemia, surgindo ainda na fase do aumento periférico da resistência à insulina ou nos casos de obesidade. Dentre elas, destacam-se: ressecamento e descamação, fissuras nos calcanhares, intertrigo plantar, calosidades, onicomicose e edema dos artelhos. Esses sinais clínicos dermatológicos, frequentes nas formas iniciais do pé diabético, podem também fazer parte de outras doenças, como o hipotireoidismo e as into-

xicações crônicas por álcool e drogas. A história clínica detalhada auxilia a elucidação diagnóstica, assim como a dosagem de glicose, insulina, hemoglobina glicada, TSH, T4 livre e outros exames complementares. Uma vez que as alterações dermatológicas nos pés, embora se iniciando de forma aparentemente benigna, podem evoluir para problemas graves, o dermatologista tem a oportunidade de diagnosticar precocemente a doença por meio do exame dermatológico e do emprego de técnica não invasiva para identificar a presença de alterações vasomotoras e vasculares.

A presença de vários graus de doença neurológica e vascular, úlceras, infecção e necrose pode ser observada nos estágios mais avançados da doença. O pé diabético é uma das causas mais comuns de amputação nos membros inferiores de causa não traumática, atingindo 80% dos amputados. O tratamento requer a intervenção de equipe multidisciplinar para controle de infecções, dor, distúrbios metabólicos, *deficit* nutricionais, além de comorbidades e intervenções cirúrgicas. A avaliação e a classificação dos casos de acordo com a intensidade do comprometimento são estratégias importantes para o tratamento e redução do risco de amputação.¹

A neuropatia periférica é complicação comum no DM e chega a afetar mais de 30% dos pacientes. É descrita como um conjunto de alterações das fibras nervosas finas que afeta tanto a resposta simpático-reflexa vascular como a do sistema nervoso periférico sensorial e neurovegetativo, com redução da sensibilidade dolorosa e da sudorese. Essas alterações antecedem o aparecimento de sintomas como dor em queimação nos pés, metatarsalgia e fraqueza nas pernas, que podem ser agravados com o consumo de bebidas alcólicas, deficiência de vitamina B12, hipotireoidismo, dificuldade de controle da glicemia e resistência periférica à insulina.²

A apresentação clínica é progressiva, levando ao comprometimento das fibras grossas, responsáveis pela inervação motora, e ao conseqüente enfraquecimento da musculatura dos membros inferiores com alterações da marcha e problemas biomecânicos. Ocorrem quedas frequentes e alterações osteoarticulares que caracterizam o pé de Charcot, com queda progressiva do arco plantar e formação do neuroma de Morton.

Por outro lado, as alterações neurológicas e ortopédicas favorecem os traumatismos nas áreas de maior pressão, levando à formação de calosidades e ulcerações. O exame da pele revela pés ressecados, devido à redução da sudorese, fissuras na região do calcâneo, descamação, onicocriptose, onicomiose crônica, intertrigo plantar, hiperqueratose plantar, bolhas e até úlceras. Identificar este processo precocemente pode prevenir a evolução clínica das alterações nos pés, que muito impactam a qualidade de vida dos pacientes.

O exame não invasivo por meio da captura de imagens de raios infravermelhos emitidos entre 8 e 12µm pelos pés pode ser utilizado para quantificar e mapear as alterações de temperatura da pele e definir certas doenças. Seu uso como método diagnóstico se baseia no fato de que diversos tipos de processos orgânicos se manifestam por alteração da produção de calor e alterações dos padrões de fluxo sanguíneo nos órgãos e tecidos. A termorregulação da pele realizada pelo sistema nervoso neu-

rovegetativo controla o fluxo capilar e arteriovenoso por meio de atividade central e periférica. No caso do DM, as neuropatias neurovegetativas simpáticas resultam na abertura desses *shunts* e aumento do fluxo de sangue para a pele.³

As alterações vasomotoras plantares podem ser observadas à medida que sofrem influência do sistema neurovegetativo simpático e da temperatura ambiente, pela termografia, realizada com câmaras ou sensores termográficos, que registram os padrões de calor emitidos, por meio de imagens que constituem os termogramas. O objetivo é mapear termicamente a planta dos pés.

Esse mapeamento respeita o conceito dos angiossomos, unidades funcionais anatômicas agrupadas por regiões que coincidem com um determinado território vasculonervoso.⁴⁻⁶ Os seis angiossomos dos pés e tornozelos são supridos por três artérias principais – 1) a artéria tibial posterior, que irriga a planta do pé (por meio dos ramos medial e lateral plantar) e parte da região calcânea; 2) artéria tibial anterior, que irriga o dorso do pé através da artéria dorsal do pé; e 3) artéria fibular que irriga a borda lateral do tornozelo. Ao exame clínico só é possível palpar a artéria dorsal plantar.

O objetivo da termografia é captar imagens infravermelhas emitidas pela pele de forma a registrar as modificações do controle vasomotor da microcirculação e do sistema circulatório arterial, mapeando dessa forma a área de acordo com a distribuição dos angiossomos e da reação vasomotora plantar.⁷⁻¹⁰ Os padrões morfológicos plantares são descritos de acordo com a anatomia vascular dos membros inferiores.

As imagens infravermelhas também auxiliam na avaliação de intercorrências infecciosas e traumáticas, entre outras. A úlcera do pé diabético é uma das complicações mais graves e a detecção precoce do seu risco é essencial para preservar o pé. A termografia é utilizada tanto para mensurar áreas hiper-radiantes com aumento agudo da temperatura plantar, bem como o aumento crônico devido ao maior fluxo arteriovenoso.¹¹⁻¹⁷ Por outro lado, a diminuição crônica da temperatura plantar pode indicar doença vascular periférica, e a instabilidade na termorregulação levar à suspeita de neuropatia diabética.¹⁸ Essa variação pode ser avaliada por meio do teste provocativo de estímulo ao frio (*cold stress test*), realizado com a exposição dos pés à temperatura de 15°C, observando-se o reaquecimento térmico após 10 minutos, promovido pela hiperemia reativa na região plantar. A submissão das imagens a um programa digital especializado possibilita mensurar a reação de reaquecimento com precisão de 0,2°C, formando uma curva comparativa entre os pés.¹⁹

MÉTODOS

Neste estudo retrospectivo avaliaram-se o prontuário e as imagens infravermelhas – termogramas – de nove pacientes portadores de onicomiose e DM grau 0 de Wagner,²⁰ que classifica as ulcerações do pé diabético em graus de gravidade crescente de I a V. Sete sofriam de DM tipo 2, e dois de DM tipo 1. Foram atendidos em consultório privado, entre maio de 2016 e janeiro de 2018. O estudo seguiu os critérios éticos da declaração de Helsinki. A captura (termografia) das imagens infra-

vermelhas (termogramas) foi realizada em ambiente controlado (temperatura ambiente de 23°C e circulação de ar < 0,2m/s) por sensor infravermelho hipersensível (18mm, resolução 320x240 pixels), Flir T420® (Flir Brasil, Sorocaba, São Paulo, Brasil). Os termogramas basais da planta e do dorso dos pés foram avaliados pelo teste de estímulo ao frio (*cold stress test*) com a imersão dos pés em água a 15°C durante um minuto e registro plantar após 10 minutos. As imagens foram analisadas no *software* Flir Tools® (Flir Brasil, Sorocaba, São Paulo, Brasil), com a mensuração das temperaturas máxima, média e mínima das áreas demarcadas. Inicialmente observou-se o padrão térmico do dorso e planta dos pés, que deve seguir o padrão de gradiente térmico com hiper-radiação no arco plantar e redução dessa radiação em relação à periferia, caracterizando o padrão em borboleta (*butterfly*) (Figura 1). A seguir, mensuraram-se as áreas no antepé, médio-pé e retropé de acordo com o território vascular das artérias tibial anterior e posterior e suas ramificações. E, finalmente, realizou-se a mensuração dos artelhos para averiguar a diferença da temperatura (ΔT). O esperado é $\leq 0,4^\circ\text{C}$, mesmo após o *cold stress test*.

RESULTADOS

Quatro pacientes homens e cinco mulheres portadores de DM e onicomiose crônica com idade entre 39 e 88 anos, sem história de úlcera nos pés (grau 0 de Wagner), foram incluídos nesta avaliação. Dois pacientes (um com DM1 e um com DM2) foram submetidos ao *cold stress test*, com o intuito de realçar a reação vasomotora mediante o estímulo frio. Todos os pacientes avaliados foram considerados positivos para instabilidade vasomotora simpática anormal nos pés, pois apresentaram quebra das linhas transversais do gradiente térmico distal dos pés e anisotermia interdigital $\geq 0,4^\circ\text{C}$ com ou sem o teste de estímulo ao frio (Figuras 1 e 2). Os padrões da termografia plantar variaram de acordo com a classificação baseada nas unidades anatômicas (angiossomas). Foi observada grande ampliação da área de hiper-radiação plantar em duas pacientes de 68 e 88 anos portadoras de DM2 e pé de Charcot, e um dos casos apresentava paroníquia, linfedema e erisipela de repetição, confirmados com ΔT acima de 3°C em relação ao membro contralateral (Figuras 3a, 3b, 3c). Os casos avaliados por termografia não apresentaram má perfusão vascular ou isquemia, e, se apresentassem, seria contraindicado o uso do laser Nd-YAG no tratamento da onicomiose.²¹

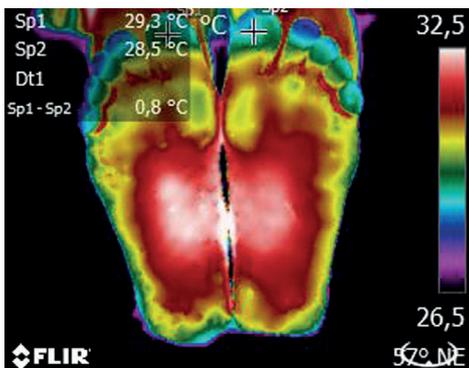


FIGURA 1: Homem, 75 anos, DM2, hiperglicemia, hiperinsulinemia, anisotermia digital com $\Delta T > 0,40^\circ\text{C}$, padrão *butterfly* com hiper-radiação para a região do calcâneo

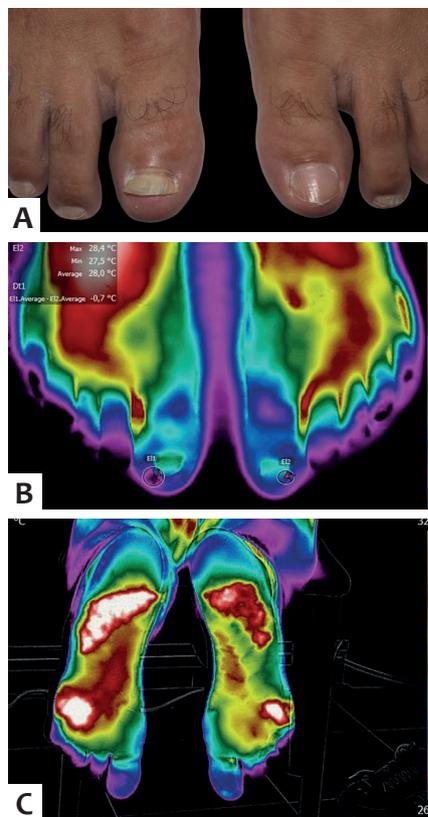


FIGURA 2: A - Homem, 59 anos, DM1, hipertensão arterial; onicólise no hálux D (correspondente à área de pressão do tênis de corrida); ressecamento e fissuras na região do calcâneo, que podem ocorrer devido à neuropatia periférica de fibras finas (redução da sudorese) B - Área hiporradiante no hálux direito (região de sofrimento vascular, correspondente à área de pressão do tênis de corrida); quebra das linhas transversas do gradiente térmico distal dos pés e anisotermia digital com hiper-radiação no quinto metatarso. C - Quebra das linhas transversas do gradiente térmico distal dos pés e anisotermia digital (ΔT acima de $0,30^\circ\text{C}$ entre as falanges distais dos artelhos e hiper-radiação no quinto; metatarso esquerdo e direito); história clínica de tratamento de hérnia lombar L5-S1, apresenta hiporradiação na região do calcâneo bilateral, padrão característico de comprometimento de raiz S1

DISCUSSÃO

A neuropatia periférica é complicação comum nos diabéticos e afeta mais de 50% da população diabética.¹ Essa condição aumenta o risco de ulcerações que podem levar à amputação no membro inferior. Os pacientes examinados não apresentavam úlceras nos membros inferiores, portanto foram considerados grau 0, tanto pelo sistema de classificação de Wagner quanto pelo sistema da Universidade do Texas utilizados na avaliação de pé diabético.^{1,8} Infecções ou isquemia aumentam o risco de amputações, o que sugere que o diagnóstico precoce e o acompanhamento regular reduzam a morbidade e a mortalidade dos pacientes diabéticos com úlceras e sem úlceras. Além disso, diabéticos com neuropatias leves estão mais sujeitos ao trauma e à infecção porque apresentam sensibilidade protetora reduzida, e esse é um fator a ser considerado.² Os portadores de diabetes estão mais sujeitos a doenças vasculares arteriais oclusivas proximais e distais, e podem cursar com outras intercorrências de

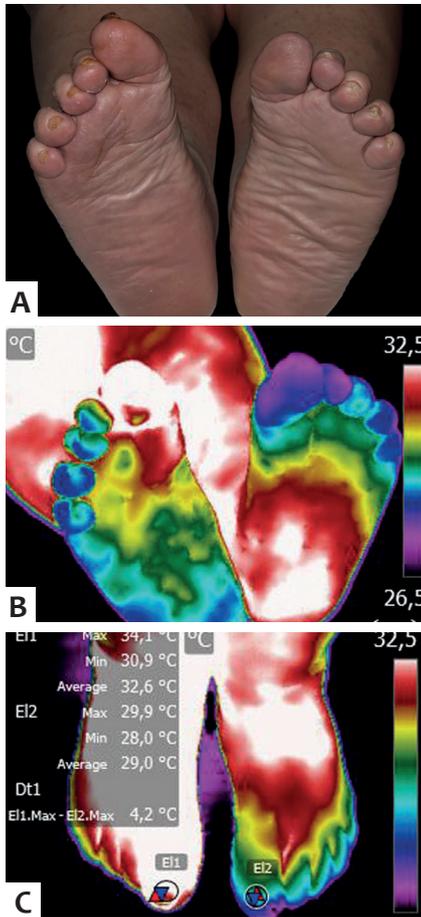


Figura 3: A - Mulher, 68 anos, DM2, hipotireoidismo; o exame clínico indicava linfema crônico nos membros inferiores e paroníquia no hálux direito, queda do arco plantar, perda da dorsiflexão do tornozelo, contratura dos artelhos, alterações comumente encontradas no pé de Charcot, o que foi confirmado com as alterações radiológicas encontradas (subluxação da articulação distal do hálux direito, aumento de partes moles, entre outras); termografia B - Quebras das linhas transversas do gradiente térmico distal dos pés com hiper-radiação em toda a planta dos pés, mais acentuada no pé esquerdo; padrão observado dos casos de alterações circulatórias e/ou vasomotoras plantares (neuropatia periférica de fibras finas) C - Apresenta hiper-radiação com ΔT acima de $4,2^{\circ}\text{C}$ quando comparados o hálux direito e o esquerdo, com padrão ascendente sugestivo de linfangite; a imagem infravermelha acompanhada do exame clínico confirmou o diagnóstico de paroníquia

origem venosa (superficial e profunda), doenças oclusivas linfáticas, além de distúrbios vasculares pós-traumáticos ou decorrentes de exposição ao frio, por isso o exame clínico conjugado ao exame propedêutico por termografia pode auxiliar no diagnóstico diferencial.^{3,6,14,17}

O teste de estímulo ao frio seguido da captação de imagens infravermelhas é aplicado porque aumenta significativamente a sensibilidade do método e é indicado nos exames realizados ambulatorialmente quando há queixa de pés queimantes ou quando há sinais de aumento da resistência periférica à insulina ou da glicemia de jejum nos pacientes assintomáticos, ou ainda, quando há sinais cutâneos de neuropatia neurovegetativa.¹⁹ A resposta de hiperemia reativa pode ser mensurada e constituir um gráfico que é utilizado para acompanhamento do tratamento. Deve-se, contudo, levar em conta que a perda das fibras nervosas finas pode ocorrer em outras enfermidades, tais como a síndrome fibromiálgica, doença do neurônio motor, síndrome de Ehlers-Danos e doença de Parkinson, entre outras, ocorrendo isoladamente ou associada ao diabetes.¹⁹ O exame clínico dos pés no grupo estudado evidenciou as áreas de ressecamento e descamação plantares, hiperqueratose e queda do arco plantar (pé de Charcot em dois casos) e marcha escarvante, associada aos resultados da termografia basal documentando áreas de hiper-radiação plantar nas regiões de contato frequente com o calçado e pisada inadequada (Figura 4). No diabético, a neuropatia de fibras finas pode gradualmente se combinar com a de fibras grossas nos portadores de diabetes tipo 2 e afetar geralmente as extremidades distais no sentido ascendente.¹⁹ Os pacientes podem cursar com sensação de queimação, picada, prurido nos membros inferiores além de apresentar câimbras e pernas inquietas no período noturno.² Pode ser acompanhada de outros sintomas de origem neurovegetativa, tais como alteração da sudorese, diarreia, constipação, olhos secos, palpitação, *hot flashes*, pele sensível, pés queimantes e intolerância ao calor. Outros exames podem ser necessários para a confirmação do diagnóstico da neuropatia periférica diabética, pela aplicação de protocolos neurológicos e realização de biópsia de pele com *punch* de 3mm seguida de exame histopatológico com colorações especiais para avaliar anexos e quantificar fibras nervosas na derme.²

CONCLUSÃO

A captação de imagens infravermelhas dos pés pode ser um instrumento propedêutico útil ao lado do exame clínico ambulatorial, pois auxilia no mapeamento dos membros inferiores, especialmente da região plantar, no diagnóstico preliminar e precoce da neuropatia de fibras finas e na identificação de áreas de infecções e má perfusão sanguínea, facilitando a elaboração dos diagnósticos diferenciais e dos fatores agravantes de risco já no primeiro atendimento clínico ambulatorial ou no consultório do dermatologista. ●

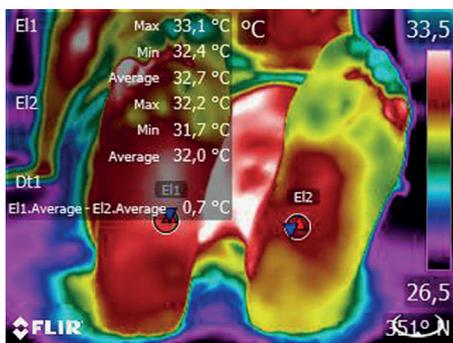


FIGURA 4: Mulher, 88 anos, DM2, calosidade plantar bilateral mais acentuada à direita, marcha escarvante, queda do arco plantar D, com hiper-radiação do quinto pododáctilo direito; quebra das linhas transversas do gradiente térmico distal dos pés e anisotermia interdigital com $\Delta T > 0,4^{\circ}\text{C}$

REFERÊNCIAS

1. Tardivo JP, Baptista MS, Correa JA, Adami F, Pinhal MA. Developmet of the Tardivo algorithm to predict amputation risk of diabetic foot. *PLoS ONE*. 2015; 10(8):e0135707.
2. Terkelsen AJ, Karlsson P, Lauria G, Freeman R, Finnerup N, Jensen TS. The diagnostic challenge of small fibre neuropathy: clinical presentations, evaluations, and causes. *Lancet Neurol*. 2017; 16:934-44.
3. Brioschi ML, Macedo JF, Macedo RAC. Termometria cutânea: novos conceitos. *J Vasc Br*. 2003; 2(2):151-60.
4. Taylor GI, Pan WR. Angiosomes of the leg: Anatomic study and clinical implications. *Plast Reconstr Surg*. 1998; 102:599-616.
5. Attinger CE, Evans KK, Bulan E, Blume P, Cooper P. Angiosomes of the foot and ankle and clinical implications for limb salvage: reconstruction, incisions, and revascularization. *Plast Reconstr Surg*. 2006; 117 Suppl: S261-93.
6. Wagner FW. The Dysvascular Foot: A system for diagnosis and treatment. *Foot Ankle Int*. 1981; 2:64-122.
7. Bagavathiappan S, Saravanan T, Philip J, Jayakumar T, Raj B, Karunanithi R, et al. Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *J Med Physics*. 2009; 34(1):43-47.
8. Alexandrecu VA, Hubermont G, Philips Y, Guillaumie B, Ngongang C, Vandenbossche P, et al. Selective primary angioplasty following na angiosome model of perfusion in the treatment of Wagner 1-4 Diabetic Foot lesions: practice in a multidisciplinary diabetic limb service. *J Endovasc*. 2008; 15:580-93.
9. Suami H, Taylor I, Pan WR. Angiosome territories of the nerves of the lower limbs. *Plast Reconstr Surg*. 2004; 112(7):1790-98.
10. Hernandez-Contreras D, Peregrina-Barreto H, Rangel-Magdaleno J, Gonzalez-Bernal J. Narrative review: Diabetic foot and infrared thermography. *Infrared Phys Technol*. 2016; 78:105-17.
11. Brioschi ML, Mehl A, Oliveira AGN, Freitas MAS, Macedo JF, Matias JEF, et al. Exame de termometria cutânea infravermelha na avaliação do pé diabético. *Rev Med Paraná*. 2007; 65(1):33-41.
12. Netten JJ, Baal JG, Liu C, Heijden F, Bus AS. Infrared thermal imaging for automated detection of diabetic foot complications. *J Diabetes Sci Technol*. 2013; 7:1122-9.
13. Macdonald A, Petrova N, Ainarkar S, Allen J, Plassman P, Whittam A, et al. Thermal symmetry of healthy feet: a precursor to a thermal study of diabetic feet prior to skin breakdown. *Physiol Meas*. 2017; 38:33-44.
14. Ring F. Thermal imaging today and its relevance to diabetes. *J Diabetes Sci Technol*. 2010; 4(4): 857-62.
15. Bagavathiappan S, Jayakumar T, Raj B, Rao PNA, Varalakshmi M, Mohan V. Correlation between plantar foot temperature and diabetic neuropathy: A case study by using and infrared thermal imaging technique. *J Diabetes Sci Technol*. 2010; 4(6):1386-92.
16. Mori T, Nagase T, Takehara K, Oe M, Ohashi Y, Amemiya A, et al. Morphological pattern classification system for plantar thermography of patients with diabetes. *J Diabetes Sci Technol*. 2013; 7(5):1102-12.
17. Nagase T, Sanada H, Takehara K, Oe M, Iizaka S, Ohashi Y, et al. Variations of plantar thermographic patterns in normal controls and non-ulcer diabetic patients: Novel classification using angiosome concept. *J Plast Reconstr Aesth Surgery*. 2011; 64:860-66.
18. Kambiz S, Neck JW, Cosgun SG, Velzen MHN, Janssen JAMJL, Azaverdi N, et al. An early diagnostic tool for diabetic peripheral neuropathy in rats. *PLoS One*. 2015; 10(5):e0126892.
19. Balbinot LF, Robinson CC, Achaval M, Zaro MA, Brioschi ML. Repeatability of infrared plantar thermography in diabetes patients: A pilot study. *J Diabetes Sci Technol*. 2013; 7:1130-37.
20. Oyibo S, Jude EB, Tarawneh I, Nguyen H, Harkless LB, Boulton AJM. A comparison of two diabetic foot ulcer classification systems. *Diabetes Care*. 2001; 24:84-8.
21. Francuzik W, Fritz K, Salavastru C. Laser therapies for onychomycosis - critical evaluation of methods and effectiveness. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2016; 30:936-4.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES:

Claudia Maria Duarte de Sá Guimarães |  ORCID 0000-003-4635-5897

O trabalho foi realizado em consultório privado com o exame dos pacientes, coleta das imagens infravermelhas, redação do artigo.

Luciane Fachin Balbinot |  ORCID 0000-0003-2762-393X

Neurofisiologista, responsável pela revisão do texto e das imagens de acordo com o método validado em sua tese de doutorado sobre o uso das imagens infravermelhas na avaliação da neuropatia periférica de fibras finas do pé diabético

Marcos Leal Brioschi |  ORCID 0000-0003-4822-8314

Revisão do texto e das imagens infravermelhas com correção dos pontos divergentes.