

Inovasi Near Infrared Spectroscopy untuk Evaluasi Mikrovaskuler Penyakit Arteri Perifer

Ronald Winardi
Kartika^{1*}
Kris Herawan Timotius²

¹Departemen Ilmu Penyakit Dalam, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia.

²Departemen Biokimia, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia.

Abstrak

Penyakit Arteri Perifer (PAP) memerlukan evaluasi yang baik untuk mengurangi angka amputasi. Tujuan dari kajian literatur adalah untuk mengkaji metode deteksi non-invasif dalam mengevaluasi kondisi mikrovaskuler pada PAP. Potensi penggunaan Near Infrared Spectroscopy (NIRS) dalam mengidentifikasi gangguan pada pasien dengan PAP, baik dengan atau tanpa DM, juga dikaji. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui PUBMED hingga bulan Oktober 2023. Berdasarkan tinjauan literatur, dapat disimpulkan bahwa penggunaan NIRS dalam mengevaluasi status mikrovaskuler pada PAP merupakan metode pengujian non-invasif yang telah diperluas perannya. Evaluasi dengan NIRS memberikan metrik seperti waktu pemulihan, deoksigenasi, konsumsi oksigen (VO₂), saturasi oksigen jaringan (StO₂), total hemoglobin (HbT), dan area oksihemoglobin di bawah kurva (O₂ HbAUC). NIRS juga berpotensi membantu tim multidisiplin dalam merawat pasien risiko tinggi, terutama pada pasien diabetes yang gejalanya terkompensasi oleh neuropati perifer. Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa NIRS dapat digunakan sebagai alat yang berguna dalam mengevaluasi status mikrovaskuler pada PAP, dengan memberikan informasi penting yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan perawatan pasien dan mencegah komplikasi yang lebih serius. Disimpulkan bahwa NIRS dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi efektivitas pengobatan dan mencegah memburuknya kondisi pasien dengan PAP pada kaki diabetes.

Kata Kunci: kaki diabetik, mikrosirkulasi spektroskopi inframerah dekat, penyakit arteri perifer, perfusi

Microvascular Evaluation Diabetic Foot Patients with Near Infrared Spectroscopy

*Corresponding Author : Ronald Winardi Kartika

Corresponding Email :
ronald.kartika@ukrida.ac.id

Submission date : February 19th, 2024

Revision date : March 15th, 2024

Accepted date : April 15th, 2024

Published date : April 20th, 2024

Copyright (c) 2024 Ronald Winardi Kartika, Kris Herawan Timotius



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Abstract

Peripheral Arterial Disease (PAP) requires good evaluation to reduce amputation rate. The aim of this study is to assess non-invasive detection methods in evaluating microvascular conditions in PAP. The potential use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) in identifying disorders in patients with PAP, either with or without DM, was also assessed. A systematic literature search was conducted through PUBMED until October 2023. Based on the literature review, it can be concluded that the use of NIRS in evaluating microvascular status in PAP is a non-invasive testing method that has expanded its role. Evaluation with NIRS provides metrics such as recovery time, deoxygenation, oxygen consumption (VO₂), tissue oxygen saturation (StO₂), total haemoglobin (HbT), and oxyhemoglobin area under the curve (O₂ HbAUC). NIRS also has the potential to assist multidisciplinary teams in treating high-risk patients, especially in diabetic patients whose symptoms are compensated by peripheral neuropathy. This study shows that NIRS can be used as a useful tool in evaluating microvascular status in PAP, by providing important information that can be used to optimise patient care and prevent more serious complications. It is concluded that NIRS can be used as a tool to evaluate the effectiveness of treatment and prevent worsening of the condition of patients with PAP in diabetic foot.

Keywords: diabetic foot, microcirculation near infrared spectroscopy, peripheral arterial disease, perfusion

How to cite :

Kartika RW, Timotius KH. Microvascular Evaluation Diabetic Foot Patients with Near Infrared Spectroscopy. JMedScientiae. 2024 ; 3(1): 28-35.

Available from: <https://ejournal.ukrida.ac.id/index.php/ms/article/view/3074> DOI : <https://doi.org/10.36452/JMedScientiae.v3i1.3074>

Pendahuluan

Penyakit arteri perifer (PAP) adalah kondisi di mana pembuluh darah di kaki menyempit, menghambat pengaliran darah yang menuju ke anggota tubuh. Pasien PAP dapat memiliki tingkat keparahan yang bervariasi, mulai dari tidak menimbulkan gejala hingga mengancam nyawa dan memerlukan tindakan amputasi, terutama pada jari-jari kaki.¹

Salah satu dampak utama dari PAP adalah penurunan pasokan darah ke kaki, yang dapat menyebabkan nyeri pada kaki, terutama saat berjalan jarak jauh (kladikasi intermitente). Pada saat aktivitas meningkat, seperti berjalan atau berolahraga, otot-otot kaki tidak mendapatkan cukup oksigen dan nutrisi karena aliran darah yang terhambat. Hal ini dapat menyebabkan rasa kram pada otot kaki dan juga kelemahan atau kelelahan pada kaki saat melakukan aktivitas yang ringan.²

Faktor risiko yang sering terkait dengan PAP adalah faktor risiko penyakit kardiovaskular lainnya, seperti diabetes, merokok, hipertensi dan kolesterol yang tinggi. Pada pasien dengan diabetes melitus (DM), terdapat tingkat terjadinya penyakit kaki diabetik yang tinggi. Hal ini terjadi karena beberapa faktor, termasuk sumbatan atau gangguan pada pembuluh darah di kaki dan kerusakan saraf (neuropati), atau kombinasi keduanya. Pasien diabetes memiliki risiko amputasi anggota tubuh yang lebih tinggi hingga delapan kali lipat dibandingkan dengan yang tidak menderita diabetes.^{3,4}

Selain nyeri kaki saat berjalan jarak jauh, PAP juga dapat menyebabkan gejala lain, seperti kram otot di kaki terutama saat berolahraga atau melakukan aktivitas fisik lainnya. Kelemahan atau kelelahan pada kaki saat melakukan aktivitas yang ringan juga dapat terjadi. Sensasi kesemutan atau mati rasa pada kaki juga bisa menjadi gejala PAP. Perubahan suhu pada kaki, seperti merasa sangat dingin atau panas, juga dapat terjadi. Selain itu, luka atau borok pada kaki yang sulit sembuh adalah gejala lain dari PAP.⁵

Kulit pada kaki atau kaki bisa mengalami perubahan warna, seperti pucat atau kebiruan dan pertumbuhan kuku yang lambat pada kaki. Gejala ini dapat bervariasi tergantung pada tingkat keparahan PAP dan seberapa jauh penyempitan pembuluh darah di kaki. Jika mengalami gejala yang mencurigakan, disarankan untuk berkonsultasi dengan dokter untuk diagnosis dan perawatan lebih lanjut.^{4,5}

Pada pasien dengan penyakit arteri perifer (PAP) atau diabetes, penting untuk melakukan pengukuran indeks aliran darah (perfusi) ke kaki secara teratur guna mengevaluasi aliran darah ke ujung perifer. Metode konvensional yang sering digunakan

adalah *Ankle-Brachial Pressure Index* (ABPI) dan *Toe Brachial Index* (TBI), serta pengukuran tekanan darah sistol pada ibu jari kaki. ABPI adalah metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi aliran darah ke kaki. Metode ini melibatkan pengukuran tekanan darah di pergelangan tangan (*brachial*) dan pergelangan kaki (*ankle*). Dengan membandingkan tekanan darah di kedua lokasi tersebut, ABPI dapat memberikan informasi mengenai sejauh mana pembuluh darah di kaki menyempit. Namun, ada batasan dalam kemampuan metode ini untuk mendeteksi gangguan pada pembuluh darah berukuran medium-besar. Selain itu, tingkat akurasi dan kemampuan prediksi ABPI dapat menurun jika terdapat penumpukan kalsifikasi pada lapisan arteri di bagian tengah (tunika medial). Selain ABPI, TBI juga digunakan untuk mengevaluasi aliran darah ke jari-jari kaki. Teknik ini melibatkan pengukuran tekanan darah di ibu jari kaki dan membandingkannya dengan tekanan darah brachial. TBI dapat memberikan informasi tambahan mengenai aliran darah ke ekstremitas bawah. Namun, seperti ABPI, TBI juga memiliki keterbatasan dalam mendeteksi gangguan pada pembuluh darah berukuran medium-besar. Dalam upaya meningkatkan deteksi dan penilaian gangguan pembuluh darah pada PAP, dikembangkan teknik pemeriksaan pencitraan seperti ultrasonografi (USG) dan computed angiography (CT). USG menggunakan gelombang suara yang dipantulkan oleh struktur internal tubuh untuk menghasilkan gambaran pembuluh darah. Teknik ini dapat memberikan informasi tentang kondisi dan aliran darah dalam pembuluh darah yang lebih detail. Namun, seperti metode lainnya, USG memiliki keterbatasan dalam mendeteksi pembuluh darah berukuran medium-besar, dan akurasi pengukuran dapat menurun jika terdapat kalsifikasi pada arteri.^{4,5,6}

CT angiography adalah teknik pencitraan yang menggunakan sinar-X dan bahan kontras untuk menghasilkan gambaran yang lebih rinci tentang pembuluh darah. Metode ini dapat membantu mengidentifikasi penyempitan, sumbatan, atau kelainan lain pada pembuluh darah yang lebih besar. Namun, CT angiography juga memiliki batasan dalam mendeteksi pembuluh darah berukuran kecil dan akurasinya dapat berkurang jika terdapat kalsifikasi pada arteri.⁵⁻⁷

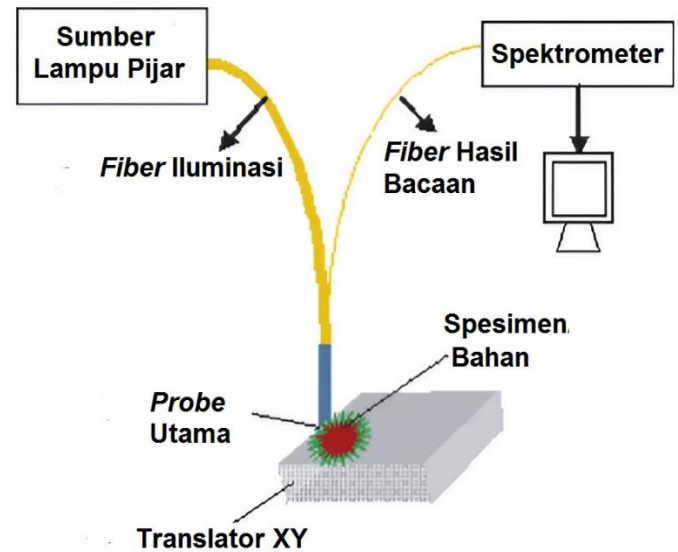
Teknologi terbaru yang telah dikembangkan adalah penggunaan alat *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS). NIRS adalah metode non-invasif yang memanfaatkan spektroskopi inframerah dekat untuk mengukur perubahan relatif dalam oksigen dan deoksihemoglobin dalam lingkungan yang dinamis. Metode ini memungkinkan penentuan saturasi oksigen

otot rangka lokal, konsumsi oksigen otot (VO_2), dan aliran darah.⁹

Metode NIRS menggunakan optik fiber sebagai komponen utamanya. Terdapat dua jenis fiber, yaitu fiber pemancar dan fiber penerima. Fiber pemancar akan memancarkan cahaya inframerah dengan dua panjang gelombang yang berbeda (633 dan 805 nm) melalui jaringan superfisial. Sementara itu, fiber penerima akan menerima pantulan cahaya dari jaringan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis berdasarkan pergeseran panjang dan fase gelombang. Selain itu, koefisien absorpsi inframerah oleh hemoglobin teroksidasi dan tereduksi dievaluasi dengan menggunakan gelombang inframerah mendekati 805 nm, sedangkan koefisien absorpsi pada panjang gelombang 633 nm memiliki makna yang berbeda.^{9,10}

Prinsip kerja NIRS adalah dengan mengukur konsentrasi relatif hemoglobin teroksidasi, hemoglobin tereduksi, dan total hemoglobin. Metode ini juga memungkinkan untuk pemeriksaan tingkat oksigenasi jaringan secara statis dan dinamis. Oleh karena itu, NIRS memiliki potensi untuk digunakan pada pasien dengan penyakit arteri perifer (PAP), baik dengan maupun tanpa diabetes melitus (DM).¹⁰

Dengan menggunakan NIRS, informasi penting tentang aliran darah, konsumsi oksigen otot, dan oksigenasi jaringan dapat diperoleh secara non-invasif. Metode ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi pembuluh darah dan respons jaringan pada pasien dengan PAP, serta membantu dalam pemantauan dan penilaian efektivitas pengobatan. Namun, perlu diingat bahwa penggunaan NIRS dalam praktik klinis masih dalam tahap pengembangan, dan lebih banyak penelitian diperlukan untuk memvalidasi kegunaan dan keakuratannya dalam diagnosis dan pengelolaan PAP.^{10,11}



Gambar 1. Skema Metode Kerja Near Infra Red Spectroscopy (NIRS)¹⁰

Metodologi

Dalam tinjauan literatur ini, dibahas secara mendalam potensi penggunaan *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) secara klinis untuk mengidentifikasi gangguan pada pasien dengan PAP yang juga mengalami gangguan mikrovaskuler. Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan pencarian pustaka secara sistematis melalui PUBMED hingga bulan Oktober 2023. Setelah melakukan penapisan dengan mengurangi artikel yang mengalami duplikasi, judul yang tidak relevan, abstrak yang tidak sesuai, populasi yang tidak sesuai, dan luaran utama yang tidak relevan, serta pengecualian penelitian yang menggunakan teknologi NIRS secara tidak konsisten, berhasil diidentifikasi 12 penelitian yang sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan.

Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Kajian Literatur

Penulis	Metode	Hasil
Lamprou et al. (2023)12	Prediabetes merupakan penyakit metabolik yang signifikan berpotensi tinggi berkembang menjadi diabetes melitus (DM) di masa depan.	Perubahan struktural dan fungsional mikrovaskuler (disfungsi endotel) sebagai tanda utama perkembangan penyakit kardiovaskuler
Collins et al. (2006)13	Prediabetes memiliki risiko lebih tinggi terjadinya penyakit kardiovaskular (CVD) dan kematian. Dampak risiko kardiovaskular pada pasien prediabetes akan meningkat disertai peningkatan kejadian disfungsi mikrovaskular dan endotel pada subklinis prediabetes	Perubahan anatomi mikrovaskuler belum banyak diketahui pada pradiabetes, tetapi sebagai penanda CVD subklinis
Weingarten et al. (2012)7	Pasien PAD ($ABI \leq 0,90$) dilakukan tes treadmill kerja konstan (CWR) (TMT) sebagai sebagai pengujian awal untuk uji selanjutnya diukur skala nyeri kaki / menit dengan skala rasio Borg. Dilakukan monitor pengukuran StO2 selama latihan dan pemulihan dengan menggunakan analisis regresi	StO2 yang diukur menggunakan NIRS bekorelasi dengan keadaan deoksigenasi jaringan pasien PAD. Hasil analisa regresi didapatkan hubungan kuat antara penurunan kemiringan durasi latihan dengan StO2 dan pada pasien dengan PAD
Baltrūnas et al. (2022)10	Penggunaan spektroskopi inframerah dekat (NIRS) sebagai metode pengujian non-invasif pada kaki diabetik. NIRS menghasilkan metrik, deoksigenasi, konsumsi oksigen (VO_2), total hemoglobin (HbT), dan area oksihemoglobin saturasi oksigen jaringan (StO2), dan rerata waktu pemulihan	NIRS membantu kelompok risiko tinggi, terutama pada pasien diabetes dengan gejala dikaburkan oleh neuropati perifer. NIRS digunakan untuk menilai efektivitas pengobatan PAD
Joseph et al. (2022)11	Penelitian ini mengevaluasi aliran darah perifer pada 30 pasien dengan iskemia kronis yang mengancam ekstremitas, tersumbatnya arteri di bawah lutut, Rutherford 5	Peningkatan perfusi jaringan selama revaskularisasi arteri di bawah lutut dapat dideteksi menggunakan NIRS. Peningkatan NIRS Sat O2 intraoperatif terbukti memprediksi hasil penyembuhan luka
Hamaoka et al. (2007)14	Metode saat ini untuk mengevaluasi iskemia jaringan terutama didasarkan pada evaluasi aliran darah dan bukan perfusi jaringan	
	Tujuan dari uji coba ini adalah untuk mengevaluasi kelayakan NIRS dalam mengukur perubahan perfusi selama revaskularisasi oklusi total kronik (CTO) pada arteri di bawah lutut (BTK).	
Joseph et al. (2022)11	Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi kegunaan NIRS dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi tingkat iskemia pada pasien dengan PAD.	Studi ini menunjukkan bahwa NIRS dapat digunakan sebagai alat yang efektif untuk mendeteksi tingkat iskemia pada pasien dengan PAD. Pengukuran oksigenasi jaringan dengan NIRS memberikan informasi penting tentang aliran darah dan kualitas oksigenasi pada ekstremitas yang terkena PAD
	Metode: menggunakan alat NIRS untuk mengukur oksigenasi jaringan pada ekstremitas bagian bawah pasien dengan PAD saat istirahat dan selama aktivitas fisik	
Hamaoka et al. (2007)14	Penelitian menggambarkan pola oksigenasi otot pasien PAD menggunakan NIRS	Hasil: NIRS imaging memberikan gambaran pola oksigenasi otot pasien PAD.
	Metode: perangkat NIRS imaging memvisualisasikan distribusi oksigenasi otot pada ekstremitas pasien PAD saat istirahat dan selama aktivitas fisik	Perangkat NIRS imaging mengidentifikasi daerah-daerah aliran darah yang terbatas dengan oksigenasi yang buruk dapat membantu manajemen PAD
Cornelis et al. (2021)15	Evaluasi deoksigenasi dan reoksigenasi diukur menggunakan NIRS pada pasien PAD saat latihan olahraga.	NIRS merupakan alat evaluasi pasien PAD melalui evaluasi oksigenasi otot. Olah raga dapat menginduksi perbaikan terutama pada pasien PAD yang mengalami nyeri saat berjalan (Claudicatio Intermitent)
Kooijman et al. (1997)16	Gangguan perfusi mikrovaskuler dan oksigenasi jaringan selama penyakit kritis dikaitkan perubahan oksigenasi jaringan atau reaktivitas mikrovaskular	Pada pasien yang sakit kritis, NIRS dengan VOT memungkinkan identifikasi perubahan kapasitas ekstraksi oksigen jaringan dan reaktivitas mikrovaskular yang dapat memprediksi kematian
	Spektroskopi inframerah dekat (NIRS) dengan uji oklusi vaskular (VOT) diukur pada pasien dengan saturasi oksigen jaringan (StO2) 40%, dan dilakukan setiap hari sampai pasien keluar dari ICU atau meninggal dunia	
Seifalian et al. (2001)17	Mikrosirkulasi dapat dinilai dengan menggunakan pengujian oklusi vaskular (VOT)	NIRS yang digabungkan dengan VOT dapat menilai reaktivitas mikrovaskuler
	NIRS adalah metode non-invasif yang mudah diterapkan untuk menilai oksigenasi jaringan dan reaktivitas mikrovaskuler.	Tingkat oklusi yang lebih lambat menunjukkan tingkat metabolisme yang lebih rendah, gangguan distribusi perfusi regional atau gangguan pemanfaatan oksigen oleh mitokondria
		Setelah reperfusi, kapiler yang sebelumnya tertutup akan terbuka dan aliran darah di kapiler yang sebelumnya paten meningkat, menyebabkan respons hiperaemik.

How to cite :

Kartika RW, Timotius KH. Microvascular Evaluation Diabetic Foot Patients with Near Infrared Spectroscopy. JMedScientiae. 2024 ; 3(1): 28-35. [Available from: https://ejournal.ukrida.ac.id/index.php/ms/article/view/3074](#) DOI : <https://doi.org/10.36452/JMedScientiae.v3i1.3074>

Kragelj et al. (2001)18	Sepsis dikaitkan dengan kelainan oksigenasi jaringan otot dan fungsi mikrovaskular Teknik spektroskopi inframerah dekat (NIRS) dapat mengevaluasi kelainan tersebut pada pasien yang sakit kritis dengan membandingkan indeks NIRS pasien yang sakit kritis dengan sukarelawan yang sehat Spektroskopi inframerah-dekat digunakan untuk mengukur oksigen otot secara terus menerus oksigen otot sebelum, selama dan setelah oklusi arteri brakialis selama tiga menit melalui manset pneumatik	Dengan demikian, kemiringan reperfusi yang lebih lambat dan tingkat reperfusi aliran yang berkurang mengindikasikan gangguan reaktivitas mikrovaskular Saturasi oksigen secara signifikan lebih rendah pada pasien dengan SIRS, sepsis berat atau syok septik dibandingkan dengan yang sehat sukarelawan. Tingkat konsumsi oksigen selama iskemia stagnan secara signifikan lebih rendah pada pasien dengan SIRS
Comerota et al. (2003)19	Perangkat spektroskopi inframerah dekat (NIRSO dapat mengukur saturasi oksigen jaringan perifer (StO2) Penelitian bertujuan untuk membandingkan StO2 menggunakan INVOS® dan pengaturan O3™ yang berbeda (O325:75 dan O330:70).	Tidak ada perbedaan signifikan dalam tingkat reoksigenasi yang ditemukan antara perangkat dan pengaturan. Waktu untuk mencapai puncak setelah manset dikempiskan lebih cepat dengan INVOS® (keduanya $p < 0,001$). Parameter lain juga serupa. Tidak ada perbedaan antara pengaturan O3™ yang berbeda

Identifikasi Gangguan Aliran Darah pada PAP

Pasien dengan penyakit arteri perifer (PAP) sering menerima terapi rehabilitasi dan olahraga untuk meningkatkan kemampuan berjalan dan mengurangi keluhan klaudikasio.²⁰ Berdasarkan tinjauan pustaka yang ada, dapat disarankan penggunaan NIRS lebih lanjut dalam pemeriksaan mikrovaskuler. Hal ini disebabkan karena pengukuran tekanan darah sistol di ibu jari kaki dan indeks tekanan pergelangan kaki (ABPI) kurang valid pada pasien dengan PAP yang memiliki atau tidak memiliki diabetes melitus (DM). Pertama, sensor NIRS dapat ditempatkan pada bagian belakang kaki dan digunakan untuk merangsang fleksi ibu jari kaki. Disamping itu, parameter yang diukur adalah luas area di bawah kurva oxyhemoglobin. Penggunaan NIRS dapat melihat tren perubahan dari kondisi awal dan juga untuk mengevaluasi perkembangan pada pasien yang sama.²¹

Penggunaan Metode NIRS untuk Evaluasi Penatalaksanaan Penyakit PAP

Pemeriksaan menggunakan metode NIRS dapat dilakukan pada saat istirahat atau dengan menggabungkannya dengan stimulus fisiologis, seperti oklusi sementara pada tungkai yang menyebabkan iskemia.^{19,21} Berdasarkan studi yang dilakukan, terdapat temuan yang menunjukkan bahwa penggunaan *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) pada pasien dengan Penyakit Arteri Perifer (PAP) dalam keadaan istirahat, yang dikombinasikan dengan stimulus iskemia, menghasilkan waktu pemulihan yang lebih lama dibandingkan dengan kelompok kontrol. Namun, terdapat pula penelitian lain yang menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Selain itu, stimulus lain yang sering digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan teknik latihan tertentu, seperti berjalan atau menggerakkan kaki ke arah telapak kaki secara berulang dengan irama dan kecepatan tertentu. Tes dilakukan sebelum, selama, dan setelah latihan tersebut. Dalam kasus ini, penggunaan teknik latihan tersebut menghasilkan peningkatan konsumsi oksigen pada jaringan dan memperpanjang waktu pemulihan pada individu yang mengalami PAP.²¹

Kajian literatur ini bertujuan untuk menginvestigasi potensi penggunaan *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS) pada pasien Penyakit Arteri Perifer (PAP) yang telah menjalani program rehabilitasi fisik. NIRS digunakan sebagai alat evaluasi untuk mengukur efektivitas rehabilitasi fisik yang dilakukan pada pasien PAP. Selain itu, NIRS juga memiliki kemampuan untuk mengevaluasi hasil prosedur revaskularisasi, seperti bypass arteri, angioplasti endovaskular, atau kombinasi dari keduanya, serta memprediksi penyembuhan ulkus diabetikum.²²

Dengan menggunakan NIRS, kita dapat memantau dan menganalisis perubahan oksigenasi jaringan di daerah yang terkena PAP sebelum dan setelah program rehabilitasi fisik atau prosedur revaskularisasi dilakukan. Data yang diperoleh melalui NIRS memberikan informasi yang penting mengenai aliran darah, oksigenasi jaringan, dan metabolisme selama proses rehabilitasi atau penyembuhan.^{21,22} Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa NIRS dapat mendeteksi perubahan dalam perfusi jaringan dan oksigenasi pada pasien PAP setelah menjalani program rehabilitasi fisik. Selain itu, penggunaan NIRS juga dapat membantu dalam memprediksi keberhasilan prosedur revaskularisasi dan memantau perkembangan penyembuhan ulkus diabetikum.²²

Dengan demikian, penggunaan NIRS sebagai alat evaluasi non-invasif dapat memberikan informasi yang berharga dalam mengevaluasi efektivitas rehabilitasi fisik pada pasien PAP serta dalam memantau hasil prosedur revaskularisasi dan perkembangan penyembuhan ulkus diabetikum.²²

Penggunaan *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS) juga terkait dengan faktor risiko penyakit jantung-pembuluh darah pada pasien dengan Penyakit Arteri Perifer (PAP), seperti diabetes, merokok, dan hiperkolesterolemia, meskipun pasien tersebut tidak mengalami gejala klaudikasio. Temuan ini menunjukkan bahwa NIRS memiliki potensi untuk membedakan tingkat risiko yang lebih tinggi pada PAP yang lebih parah. Dalam pasien PAP yang memiliki diabetes, penggunaan NIRS dalam pemeriksaan menunjukkan hasil yang lebih akurat dan dapat menjadi alternatif untuk pemeriksaan *Ankle-Brachial Pressure Index* (ABPI). Selain itu, pemeriksaan pembuluh darah mikro menggunakan NIRS yang dikombinasikan dengan latihan fisik, seperti berjalan atau fleksi pada ibu jari kaki, pada pasien PAP dengan diabetes, menunjukkan kadar total hemoglobin yang lebih rendah dibandingkan dengan pasien PAP tanpa diabetes. Dengan demikian, pemeriksaan pembuluh darah mikro menggunakan NIRS memiliki potensi untuk membedakan antara pasien dengan PAP saja atau pasien dengan PAP yang juga memiliki diabetes, dan dapat digunakan secara klinis sebagai indikator diagnostik yang berguna.²³

Meskipun beberapa metode, termasuk *enzyme-linked immunosorbent assay*, *polymerase chain reaction*, *immunofluorescent assay*, dan *Western blotting*, telah digunakan untuk diagnosis disfungsi endotel pada PAP, namun tidak ada yang ideal dalam hal efektivitas biaya, kecepatan, dan akurasi. Spektroskopi inframerah-dekat (NIR) adalah pengujian multikomponen yang cepat dan memungkinkan analisis non-invasif dan tidak merusak. Penggunaan *Near-Infrared Spectroscopy*

(NIRS) dalam program latihan fisik memberikan manfaat yang signifikan dalam memahami dan mengoptimalkan respons fisiologis tubuh terhadap latihan. Berikut adalah beberapa manfaat lebih detail yang dapat diperoleh dengan penggunaan NIRS dalam program latihan fisik.¹⁹

Evaluasi dan Pemantauan Kebugaran Otot. NIRS memungkinkan pengukuran langsung oksigenasi otot selama latihan. Hal ini memungkinkan evaluasi kebugaran otot pada tingkat individu. Dengan memantau oksigenasi otot selama latihan, NIRS dapat memberikan informasi yang akurat tentang kemampuan otot untuk mengirim dan menggunakan oksigen. Informasi ini membantu memahami tingkat kebugaran otot, kapasitas aerobik, dan efisiensi penggunaan oksigen oleh otot. Berdasarkan informasi ini, program latihan dapat disesuaikan secara individual untuk meningkatkan kebugaran otot dan efisiensi energi.^{21,22}

Pengukuran Intensitas Latihan. NIRS dapat membantu mengukur intensitas latihan secara objektif. Dengan memonitor oksigenasi otot, NIRS memberikan indikator langsung tentang sejauh mana otot terlibat dalam latihan dan tingkat beban yang diterima oleh otot tersebut. Informasi ini membantu memastikan bahwa intensitas latihan berada dalam rentang yang optimal untuk mencapai tujuan latihan yang diinginkan. Selain itu, NIRS juga dapat membantu menghindari latihan berlebihan yang dapat menyebabkan cedera atau kelelahan berlebihan.^{22,23}

Pemantauan Pemulihan: NIRS dapat digunakan sebagai alat pemantauan pemulihan pasca-latihan. Dengan memantau oksigenasi otot selama periode pemulihan, NIRS membantu dalam mengevaluasi sejauh mana pemulihan oksigenasi otot terjadi setelah latihan. Informasi ini penting untuk menentukan waktu pemulihan yang optimal antara sesi latihan, mengatur jadwal latihan yang tepat, dan mencegah *overtraining*. Dengan mengoptimalkan pemulihan, NIRS dapat membantu meningkatkan adaptasi fisiologis tubuh dan menghindari kelelahan berlebihan yang dapat menghambat kemajuan latihan.^{22,23}

Personalisasi Latihan. NIRS memungkinkan personalisasi program latihan fisik berdasarkan respons individu terhadap latihan. Dengan memantau oksigenasi otot, NIRS memberikan informasi yang spesifik tentang kebutuhan dan kemampuan tubuh dalam menghadapi latihan. Hal ini membantu dalam mengatur intensitas, durasi, dan jenis latihan yang paling efektif untuk masing-masing individu. Dengan personalisasi yang tepat, NIRS membantu mencapai hasil latihan yang optimal dan meminimalkan risiko cedera.^{23,24}

Optimasi Performa Atlet. NIRS dapat digunakan untuk mengoptimalkan performa atlet.

Dengan memantau respons oksigenasi otot selama latihan, NIRS memberikan informasi yang berharga kepada atlet dan pelatih tentang efektivitas strategi latihan yang digunakan. Informasi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan, mengatur zona latihan yang efektif, dan mengoptimalkan strategi pemulihan untuk meningkatkan performa atlet. Dengan menggunakan NIRS sebagai alat bantu, atlet dapat mencapai performa yang lebih baik dan meningkatkan pencapaian tujuan mereka dalam olahraga.^{22,23}

Dengan manfaat-manfaat ini, penggunaan NIRS dalam program latihan fisik memberikan keuntungan yang signifikan dalam memahami dan mengoptimalkan respons fisiologis tubuh terhadap latihan, memantau kelelahan otot, mengatur intensitas latihan yang tepat, mempercepat pemulihan, serta personalisasi program latihan untuk mencapai hasil yang optimal dan meningkatkan performa atlet.²³

Untuk menilai spektroskopi inframerah dekat (NIRS) sebagai metode diagnosis dan evaluasi penyakit pembuluh darah perifer. NIRS dievaluasi untuk diagnosis dan evaluasi keparahan pada pasien dengan penyakit pembuluh darah perifer. Parameternya terbukti mencerminkan status klinis pasien, dengan korelasi yang baik dengan metode yang ada. Saat ini teknologi NIRS dapat berfungsi sebagai metode tambahan untuk diagnosis dan evaluasi pasien dengan penyakit pembuluh darah perifer.²⁴

Simpulan

Pemanfaatan *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) sebagai metode non-invasif untuk evaluasi mikrovaskuler pada penyakit arteri perifer (PAP) pada tungkai, terutama pada pasien diabetes, merupakan langkah penting dalam deteksi risiko tinggi terjadinya PAP. NIRS mampu mendeteksi kelainan pada saraf yang sering kali tidak terlihat secara jelas, sehingga memungkinkan evaluasi yang lebih baik terhadap penatalaksanaan penyakit dan pencegahan kemungkinan memburuknya gejala pada pasien dengan PAP. Pemeriksaan NIRS memiliki potensi sebagai alat yang mudah dilakukan dan efektif dalam upaya pencegahan dan pengelolaan PAP pada populasi yang rentan, terutama pada pasien diabetes.

Daftar Pustaka

1. Singh N, Armstrong DG, Lipsky BA. Preventing foot ulcers in patients with diabetes. JAMA. 2005;293(2): 217-228.
2. Yazdanpanah L, Nasiri M, Adarvishi S. Literature review on the management of diabetic foot ulcer. World J Diabetes. 2015;6(1): 37-53.

3. Selvin E, Erlinger TP. Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999–2000. *Circulation*. 2004;110(6): 738-743.
4. Faglia E, Favales F, Quarantiello A, *et al*. Angiographic evaluation of peripheral arterial occlusive disease and its role as a prognostic determinant for major amputation in diabetic subjects with foot ulcers. *Diabetes Care*. 1998;21(4): 625-630.
5. Jude EB, Oyibo SO, Chalmers N, Boulton AJ. Peripheral arterial disease in diabetic and nondiabetic patients: a comparison of severity and outcome. *Diabetes Care*. 2001;24(8): 1433-1437.
6. Narres M, Kvitkina T, Claessen H, *et al*. Incidence of lower extremity amputations in the diabetic compared with the non-diabetic population: a systematic review. *PLoS One*. 2017;12(8):e0182081.
7. Weingarten MS, Samuels JA, Neidrauer M, *et al*. Diffuse near-infrared spectroscopy prediction of healing in diabetic foot ulcers: a human study and cost analysis. *Wound Repair Regen*. 2012;20(6): 911-917.
8. Irwin MS, Thorniley MS, Dore CJ, Green CJ. Near infra-red spectroscopy: a non-invasive monitor of perfusion and oxygenation within the microcirculation of limbs and flaps. *Br J Plast Surg*. 1995;48(1): 14-22.
9. A, Oroszy D, Arnez ZM. Continuous postoperative monitoring of cutaneous free flaps using near infrared spectroscopy. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2008; 61(1): 71-77.
10. Baltrūnas T, Piktornaitė G, Račytė A, Baltrūnienė V, Mosenko V, Skrebūnas A, Vaitėnas G, Ščerbinskas S, Urbonavičius S, Ručinskas K. Measurement of revascularization effect using near infrared spectroscopy in below the knee arteries. *Rev Cardiovasc Med*. 2022;23(9):299.
11. Joseph S, Munshi B, Agarini R, Kwok RCH, Green DJ, Jansen S. Near infrared spectroscopy in peripheral artery disease and the diabetic foot: A systematic review. *Diabetes Metab Res Rev*. 2022;38(7):11-19.
12. Lamprou S, Koletsos N, Mintziori G. Microvascular and endothelial dysfunction in prediabetes. *Life*. 2023;13(3):644-650.
13. Collins EG, O'Connell S, Butler J, McBurney C, Jelinek C. Using near infrared spectroscopy to evaluate peripheral arterial disease. *Circulation*. 2006;114:601-609.
14. Hamaoka T, McCully KK, Quaresima V, Yamamoto K, Chance B. Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *J Biomed Opt*. 2007;12(6):062105.
15. Cornelis N, Chatzinikolaou P, Buys R, Fourneau I, Claes J, Cornelissen V. The use of near infrared spectroscopy to evaluate the effect of exercise on peripheral muscle oxygenation in patients with lower extremity artery disease: A systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2021;61(5):837-847.
16. Kooijman HM, Hopman MT, Colier WN, van der Vliet JA, Oeseburg B. Near infrared spectroscopy for noninvasive assessment of claudication. *J Surg Res*. 1997;72(1): 1-7.
17. Seifalian AM, Atwal A, White S, Mikhailidis DP, Baker D, Hamilton G. A role for near infrared spectroscopy in the assessment of intermittent claudication. *Int Angiol*. 2001;20(4): 301-306.
18. Kragelj R, Jarm T, Erjavec T, Presern-Strukelj M, Miklavcic D. Parameters of postocclusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy in patients with peripheral vascular disease and in healthy volunteers. *Ann Biomed Eng*. 2001;29(4): 311-320.
19. Comerota AJ, Throm RC, Kelly P, Jaff M. Tissue (muscle) oxygen saturation (StO₂): a new measure of symptomatic lower-extremity arterial disease. *J Vasc Surg*. 2003;38(4): 724-729.
20. Uccioli L, Meloni M, Izzo V, *et al*. Critical limb ischemia: current challenges and future prospects. *Vasc Health Risk Manag*. 2018;14:63-74.
21. Wolf U, Wolf M, Choi JH, *et al*. Localized irregularities in hemoglobin flow and oxygenation in calf muscle in patients with peripheral vascular disease detected with near-infrared spectrophotometry. *J Vasc Surg*. 2003;37(5): 1017-1026.
22. Pedersen BL, Baekgaard N, Quistorff B. A near infrared spectroscopy-based test of calf muscle function in patients with peripheral arterial disease. *Int J Angiol*. 2015;24(1): 25-34.
23. Godavarty A, Rao PNS, Khandavilli Y, Jung Y-J. Diabetic wound imaging using a noncontact near-infrared scanner: a pilot study. *J Diabetes Sci Technol*. 2015;9(5): 1158-1159.
24. Weingarten MS, Neidrauer M, Mateo A, *et al*. Prediction of wound healing in human diabetic foot ulcers by diffuse near-infrared spectroscopy: a pilot study. *Wound Repair Regen*. 2010;18(2): 180-185.