



## Comparative analysis of microcirculation and oxidative metabolism indicators in elderly people with diabetes mellitus with and without diabetic foot using laser Doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy

Rima Nasirova\*

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor  
Azerbaijan State Advanced Training Institute for Doctors named after A. Aliev  
AZ1012, 35 Muzaffar Hasanov Str., Baku, Republic of Azerbaijan

Ainur Gummatova

Anaesthesiologist-resuscitator  
Center for Scientific Surgery named after academician M.A. Topchubashev  
AZ1122, 196 Abbas Mirza Sharifzadeh Str., Baku, Republic of Azerbaijan

**Abstract.** The combined use of laser Doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy is a topical area of modern clinical diagnostics, allowing not only quantitative assessment of tissue perfusion in patients with diabetes mellitus, but also to analyse the mechanisms of microcirculation regulation, which is especially important in the treatment of patients with diabetic foot and chronic ischaemia. The aim of this study was to conduct a comparative analysis of microcirculation and oxidative metabolism indicators in elderly people with diabetes mellitus with and without diabetic foot. The study involved elderly patients in two groups, aged 60-75 years, with 20 people in each group ( $n = 40$ , men – 26 (65%), women – 14 (35%),  $p < 0.001$ ). Analysis of the data showed that in 35% of patients with type 2 diabetes mellitus, microcirculation indicators were within normal limits compared to patients with type 2 diabetes mellitus complicated by diabetic foot (35% vs. 0,  $p < 0.001$ ). The decrease in oxidative metabolism indicators in patients with type 2 diabetes mellitus complicated by diabetic foot was 3 times greater than in patients with type 2 diabetes mellitus ( $p < 0.05$ ). This, in turn, led to a compensatory threefold increase in the amplitude of nicotinamide adenine dinucleotide coenzyme in patients with diabetic foot ( $p < 0.05$ ). The presence of normal microcirculation indicators in laser Doppler flowmetry in patients with diabetes mellitus does not exclude the risk of developing diabetic foot. The decrease in oxidative metabolism indicators in patients with diabetic foot was a consequence of oxidative stress caused by chronic hyperglycaemia, microvascular disorders, and inflammation, which led to tissue trophism damage in this category of patients. Early understanding of the state of microcirculation and trophism of the foot in patients with diabetes and intervention in muscle, nerve, and endothelial function may be an effective way to improve microcirculation of the foot and prevent diabetic ulcers

**Keywords:** microcirculation; laser Doppler flowmetry; laser fluorescence spectroscopy; oxidative metabolism; type 2 diabetes mellitus; diabetic foot

### Introduction

Diabetes mellitus (DM) is a global health problem. In 2021, the International Diabetes Federation estimated that the prevalence of diabetes among people aged 20 to 79 had become widespread, reaching 10.5% or

536.6 million people. Forecasts indicate that this figure will increase to 12.2% (783.2 million people) by 2045 [1]. One of the most common and serious complications of diabetes is diabetic foot (DF) [2]. However, as

### Suggested Citation:

Nasirova R, Gummatova A. Comparative analysis of microcirculation and oxidative metabolism indicators in elderly people with diabetes mellitus with and without diabetic foot using laser Doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy. Eurasian Health J. 2025;17(4):85-95. DOI: 10.54890/1694-8882-2025-4-85

\*Corresponding author



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

the body ages, there are also significant changes in the microcirculation and tissue metabolism, especially in the lower extremities, which can contribute to the development of chronic ischaemic conditions and tissue trophism disorders [3].

Contradictory results of comparisons of baseline microcirculation in elderly patients with diabetes and in relatively healthy volunteers suggest that the assessment of baseline perfusion associated with diabetes is not very informative [4,5]. Some authors found no significant differences, others noted a tendency towards increased baseline blood flow in patients with diabetes [6-8], and some researchers reported a decrease in baseline blood flow in patients with diabetes. Thanks to the portability of wireless technologies, laser Doppler flowmetry (LDF) and laser fluorescence spectroscopy (LFS) are suitable for daily use [9,10].

The results of using wireless portable dynamic light scattering sensors that implement laser Doppler flowmetry signal processing have confirmed that hardware testing of volunteers can detect microvascular changes caused by both diabetes and ageing [3,11,12]. Continuous and adequate blood flow is vital for cell function; thus, tissue perfusion, usually quantified by measuring the volume of blood passing through the microvascular network in a given volume of tissue over a given period of time, is a key indicator of organ or tissue health. Since regional blood flow strongly influences the metabolic activity of cells, it is extremely important for the authors of this work to understand the nuances of the characteristics and reactivity of microvessels, which change with age, in order to understand the progressive deterioration of tissue function due to age-related metabolic activity disorders. To better understand blood flow in microvessels, microscopy can be combined with surface electrode measurements of partial oxygen

pressure. Alternatively, laser Doppler flowmetry can be used as a standalone method for assessing microvascular function, as it allows both flow and erythrocyte velocity to be measured [3,11].

Wearable LDF has a unique advantage in the rapid assessment of plantar microcirculation in the early stages of diabetic ulcers. In combination with wavelet analysis, it allows quantitative and qualitative analysis of the mechanism of foot microcirculation regulation. Compared to healthy adults, patients with diabetes had significantly lower foot microcirculation when using portable LDF, mainly in the plantar region near the distal end of the foot [8]. Diagnosis of blood circulation in the microvessels of the skin and oxidative metabolism of biological tissue in elderly people with diabetes, which allows predicting the presence of microcirculatory disorders in the body, assessing their severity and monitoring during therapy, is a relevant area of research. The aim of the study was to conduct a comparative analysis of microcirculation and oxidative metabolism indicators in elderly people with type 2 diabetes mellitus with and without diabetic foot using a combination of LDF and LFS of the lower extremities.

### Materials and Methods

The study included 40 elderly patients aged 60-75 years. The study was conducted in the diabetic foot department of the M.A. Topchubashev Scientific Surgery Centre over a period of two months (April, May 2025). There were 26 men (65%) and 14 women (35%), with statistical differences observed between patients by gender ( $\chi^2 = 7.200$ ,  $f = 0.008$ ,  $p < 0.001$ ). The patients were divided into two groups: 20 elderly patients with type 2 diabetes mellitus complicated by diabetic foot syndrome receiving inpatient treatment and 20 elderly volunteers with type 2 diabetes mellitus (Fig. 1).



**Figure 1.** Laser Doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy of the lower extremities in patients with DF (left) and elderly volunteers with type 2 DM (right)

Source: created by the authors

The inclusion criteria were the presence of type 2 DM complicated by DF (stage 2, 3, or 4 DF according

to Wagner) and without DF. The exclusion criteria were severe cardiovascular disorders, septic conditions, and

significant cognitive impairments that prevented contact with the patient. The study area was the malar surface of the big toe. The studies were conducted at rest, without any functional tests, for 10 minutes, after 30 minutes of rest for the subjects. For the combined use of LDF and LFS, a portable "LAZMA PF" device was used. Informed consent was obtained from all patients for the study. The arithmetic mean values of perfusion (M), nutrient blood flow (Mnutr), oxidative metabolism indicators (OMI), linking the nutrient component of blood perfusion and the fluorescence amplitude of nicotinamide adenine dinucleotide coenzyme (Anadn) were analysed.

Statistical processing was performed using Statistics 16.0 software for Windows (StatSoft Inc, USA) and StatTech software (StatTech LLC, Russia). Quantitative indicators close to normal distribution were presented as arithmetic mean (M) and standard deviation (SD).

Absolute values were compared using multi-field contingency tables with Pearson's chi-square test ( $\chi^2$ ) and Fisher's exact test (f). Differences between the compared values were considered statistically significant at a confidence level of  $p < 0.050$  [13].

### Results

The control values of microcirculation and oxidative metabolism indicators in persons over 50 years of age using the portable analyser "LAZMA PF" (in perfusion units) are as follows: M (microcirculation indicator) – 10.2-15.4; Mnutr (nutritive blood flow indicator) – 1.9-2.3; Anadn (fluorescence amplitude of nicotinamide adenine dinucleotide coenzyme) – 0.7-1.7; OMI (oxidative metabolism indicator) – 0.6-1.62. As can be seen from the data, out of 20 patients with type 2 diabetes mellitus, 7 patients (35%) had microcirculation (M) indicators within normal control values (Table 1).

**Table 1.** Results of examination of patients with type 2 diabetes mellitus who underwent microcirculation and oxidative metabolism testing (absolute and relative values)

Microcirculation and oxidative metabolism indicators	Number of patients with indicators within normal limits	Number of patients with indicators above the upper limit of control values	Number of patients with indicators below the lower limit of control values
M	7 (35%) ( $p < 0.001$ )	4 (20%) ( $p > 0.05$ )	9 (45%) ( $p > 0.05$ )
Mnutr	7 (35%) ( $p < 0.001$ )	9 (45%) ( $p > 0.05$ )	4 (20%) ( $p > 0.05$ )
OMI	5 (25%) ( $p > 0.05$ )	12 (60%) ( $p > 0.05$ )	3 (15%) ( $p < 0.05$ )
Anadn	6 (30%) ( $p > 0.05$ )	2 (10%) ( $p < 0.05$ )	12 (60%) ( $p > 0.05$ )

Source: created by the authors

Nine patients (45%) with type 2 DM had impaired microcirculation in the form of decreased microcirculation, and four patients (20%) with type 2 DM had impaired microcirculation in the form of increased microcirculation ( $p > 0.05$ ). As for OMI, out of 20 patients with type 2 DM, 12 (60%) had an increased functional state of the

microcirculatory-tissue system (FS MTS), which indicates that OMI values exceeded the upper limit of control values; in 3 (15%) patients, the FS MTS was in a state of decompensation. Only in 5 (25%) patients was the OMI within the control range (Table 1). In elderly patients with diabetic foot, the LDF pattern was slightly different (Table 2).

**Table 2.** Results of examination of patients with type 2 diabetes mellitus and diabetic foot who underwent examination of microcirculation and oxidative metabolism (absolute and relative values)

Microcirculation and oxidative metabolism indicators	Number of patients with indicators within normal limits	Number of patients with indicators above the upper limit of control values	Number of patients with indicators below the lower limit of control values
M	0 ( $p < 0.001$ )	8 (40%) ( $p > 0.05$ )	12 (60%) ( $p > 0.05$ )
Mnutr	0 ( $p < 0.001$ )	12 (60%) ( $p > 0.05$ )	8 (40%) ( $p > 0.05$ )
OMI	1 (5%) ( $p > 0.05$ )	10 (50%) ( $p > 0.05$ )	9 (45%) ( $p < 0.05$ )
Anadn	2 (10%) ( $p > 0.05$ )	6 (30%) ( $p < 0.05$ )	12 (60%) ( $p > 0.05$ )

Source: created by the authors

Microcirculation indicators M and Mnutr within the control values were not detected in any patient. Twelve (60%) patients with diabetic foot had microcirculation disorders in the form of decreased perfusion, and eight (40%) patients with diabetic foot had microcirculation disorders in the form of increased perfusion ( $p > 0.05$ ). A decrease in OMI was found in 9 patients (45%) and an

increase in OMI in 10 (50%) patients, and only in one patient (5%) was OMI within the control values (Table 2). There were significant statistical differences between the number of patients with type 2 diabetes mellitus and the number of patients with type 2 diabetes mellitus complicated by DF, in whom M and Mnutr values were within the normal range ( $\chi^2 = 19.259$ ,  $p < 0.001$ ) (Table 3).

**Table 3.** Results of statistical processing of microcirculation and oxidative metabolism indicators in patients with type 2 diabetes mellitus and the number of patients with type 2 diabetes mellitus complicated by diabetic foot

Microcirculation and oxidative metabolism indicators	Differences in values within the normal range	Differences in indicators above the upper limit of control values	Differences in indicators below the lower limit of control values
M	$\chi^2 = 19.259$	$\chi^2 = 1.905$ p = 0.168 f = 0.300	$\chi^2 = 0.902$ p = 0.343 f = 0.366
Mnutr	$\chi^2 = 19.259$	$\chi^2 = 0.902$ p = 0.343 f = 0.366	$\chi^2 = 1.905$ p = 0.168 f = 0.300
OMI	$\chi^2 = 3.137$ p = 0.077 f = 0.101	$\chi^2 = 0.404$ p = 0.526 f = 0.751	$\chi^2 = 4.289$ p = 0.039 f = 0.048
Anadn	$\chi^2 = 2.500$ p = 0.114 f = 0.139	$\chi^2 = 4.800$ p = 0.029 f = 0.065	$\chi^2 = 0.404$ p = 0.526 f = 0.546

Source: created by the authors

There were no statistical differences between the number of patients with type 2 DM and the number of patients with type 2 DM complicated by diabetic foot with OMI within the normal range and OMI exceeding the upper limit of control values ( $p > 0.05$ ), but there were significant statistical differences in the OMI indicator below the lower limit of the control values ( $\chi^2 = 4.289$ ,  $p = 0.039$ ,  $f = 0.048$ ,  $p < 0.05$ ). When comparing Anadn indicators within the normal range and below the control values between the number of patients with type 2 DM and the number of patients with type 2 DM complicated by DF, no statistical differences were observed ( $p > 0.05$ ). At the same time, statistical differences were observed when comparing these patients with Anadn indicators above the upper limit of control values ( $p < 0.05$ ).

### Discussion

Analysis of the data showed that in 35% of patients with type 2 DM, microcirculation parameters were within normal limits compared to patients with type 2 DM complicated by DF (35% vs. 0%,  $p < 0.001$ ). This is because microcirculation disorders do not always manifest themselves in the early stages, and in some patients with diabetes, microcirculation may remain within normal limits until diabetic foot develops, as shown in the studies by I. Mizeva *et al.* [7] and A.V. Skripal *et al.* [11]. As for OMI indicators in LFS, statistical differences were observed when comparing groups of patients with OMI, in which this indicator was below the lower limit of control values in patients with type 2 diabetes and diabetic foot ( $p < 0.05$ ). The decrease in OMI in patients with type 2 DM complicated by DF was 3 times greater

than in patients with type 2 DM, which indicates the prevalence of trophic disorders in this group of patients. In this regard, a compensatory increase in Anadn by 3 times was noted in patients with diabetic foot ( $p < 0.05$ ). This is explained by the fact that diabetic foot syndrome is accompanied by pronounced oxidative stress caused by chronic hyperglycaemia, microvascular disorders and inflammation, which leads to excessive formation of free radicals and tissue damage [5,11]. The lack of statistical significance between microcirculation disorders in patients with type 2 DM and patients with type 2 DM complicated by DF ( $p > 0.05$ ) in LDF indicates that, despite the presence of diabetes, in 65% of patients, microcirculation in the tissues of the foot is not impaired to an extent that would be recorded by LDF as a statistically significant change.

### Conclusions

Normal microcirculation parameters obtained by laser Doppler flowmetry in patients with diabetes mellitus do not exclude the risk of developing diabetic foot. Despite the presence of diabetes, in 65% of patients, microcirculation in the tissues of the foot is not impaired to such an extent that it can be recorded by LDF as a statistically significant change. Often, statistical significance and power are achieved not by increasing the magnitude of differences, but by including a larger number of subjects in the study. The decrease in oxidative metabolism indicators in patients with diabetic foot, as a statistically significant change, is a consequence of oxidative stress, which exacerbates cell and tissue damage, complex interactions between

microcirculation disorders, neuropathy, and other factors associated with diabetes mellitus. A comprehensive assessment of the patient's condition and the use of additional diagnostic methods allow the causes of diabetic foot development to be identified and eliminated. In addition, LDF and LFS are instrumental methods for personalising treatment, allowing a transition from group statistical indicators to the analysis of the condition of a specific patient, which contributes to an improved prognosis and quality of life.

### Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to the editorial team of the Eurasian Health Journal for their professional and high-quality editorial work on this article.

### Funding

The study received no external funding.

### Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

### References

- [1] Sun H, Saeedi P, Karuranga S, et al. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes Res Clin Pract.* 2022 Jan;183:109119. DOI: 10.1016/j.diabres.2021.109119. Epub 2021 Dec 6. Erratum in: *Diabetes Res Clin Pract.* 2023 Oct; 204:110945. DOI: 10.1016/j.diabres.2023.110945
- [2] Sidorov VV, Rybakov YL, Gukasov VM et al. A System of Local Analyzers for Noninvasive Diagnostics of the General State of the Tissue Microcirculation System of Human Skin. *Biomed Eng.* 2022;55:379–82. DOI: 10.1007/s10527-022-10140-3
- [3] Jin K. A microcirculatory theory of aging. *Aging Dis.* 2019;10(3):676–83. DOI: 10.14336/AD.2019.0315
- [4] Grover M, Makkar R, Sehgal A, et al. Etiological aspects for the occurrence of diabetic neuropathy and the suggested measures. *Neurophysiology.* 2020;52(2):159–68. DOI: 10.1007/s11062-020-09865-2
- [5] Jan YK, Liao F, Cheing GLY, Pu F, Ren W, Choi HMC. Differences in skin blood flow oscillations between the plantar and dorsal foot in people with diabetes mellitus and peripheral neuropathy. *MicrovascRes.* 2019;122:4551. DOI: 10.1016/j.mvr.2018.11.002
- [6] Zharkikh E., Loktionova Y., Dunaev A. Microcirculatory dysfunction in patients with diabetes mellitus detected by a distributed system of wearable laser doppler flowmetry analysers. *J. Biophotonics.* 2024;17:e202400297. DOI: 10.1002/jbio.202400297
- [7] Mizeva I, Zharkikh E, Dremin V, et al. Spectral analysis of the blood flow in the foot microvascular bed during thermal testing in patients with diabetes mellitus. *MicrovascularResearch.* 2018;120:13–20. DOI: 10.1016/j.mvr.2018.05.005
- [8] Hu XX, Xing XM, Zhang ZM, et al. Wearable laser doppler flowmetry for non-invasive assessment of diabetic foot microcirculation: methodological considerations and clinical implications. *J Biomed Opt.* 2024;29(6):065001. DOI: 10.1117/1.JBO.29.6.065001
- [9] Schaper NC, van Netten JJ, Apelqvist J, Bus SA, Hinchliffe RJ, Lipsky BA; IWGDF Editorial Board. Practical Guidelines on the prevention and management of diabetic foot disease (IWGDF 2019 update). *Diabetes Metab Res Rev.* 2020;36(Suppl 1):e3266. DOI: 10.1002/dmrr.3266
- [10] Zherebtsov EA, Zharkikh EV, Loktionova YI, et al. Wireless Dynamic Light Scattering Sensors Detect Microvascular Changes Associated With Ageing and Diabetes. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2023;70(11):3073–81. DOI: 10.1109/TBME.2023.3275654
- [11] Skripal AV, Verkhov DG, Al-Badri F, et al. Assessment of blood microcirculation and oxidative metabolism of biological tissue in the limb at changing its position by methods of laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy. *Regional blood circulation and microcirculation.* 2024;23(4):56–66. DOI: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-56-66
- [12] Bus SA, Lavery LA, Monteiro-Soares M, et al. Guidelines on the prevention of foot ulcers in persons with diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes Metab Res Rev.* 2020;36(Suppl 1):e3269. DOI: 10.1002/dmrr.3269
- [13] Dzhainakbaev N.T., Orakbay L.Zh., Adilkhanova A.N., et al. [Guide to practical classes in biostatistics](#). Almaty: Kazakh-Russian Medical University; 2020. 94.

## **Кант диабетти бар улгайган адамдарда диабеттик таман синдрому бар жана жок учурда микроциркуляциянын жана кычкылдануучу метаболизмдин көрсөткүчтөрүн лазердик доплердик флоуметрия жана лазердик флуоресценттик спектроскопия ыкмалары менен салыштырма талдоо**

**Рима Насирова**

Медицина илимдеринин доктору, доцент

А. Алиев атындагы Азербайжан дарыгерлердин билимин өркүндөтүү мамлекеттик институту  
AZ1012, Музаффар Гасанов көч., 35, Баку ш., Азербайжан Республикасы

**Айнур Гумматова**

Анестезиолог-реаниматолог

Академик М.А. Топчубашев атындагы Илимий хирургия борбору  
AZ1122, Аббас Мирза Шарифзаде көч., 196, Баку ш., Азербайжан Республикасы

**Аннотация.** Лазердик доплердик флоуметрия менен лазердик флуоресценттик спектроскопияны комплекстүү колдонуу заманбап клиникалык диагностиканын актуалдуу багыттарынын бири болуп саналат. Бул ыкмалар кант диабетти менен ооругандарда ткандардын перфузиясынын деңгээлин сандык баалоого гана эмес, микроциркуляциянын жөнгө салынуу механизмдерин талдоого да мүмкүндүк берет, бул өзгөчө диабеттик таман синдрому жана өнөкөт ишемиясы бар бейтаптарды дарылоодо маанилүү. Изилдөөнүн максаты кант диабетти бар улгайган адамдарда, диабеттик таман синдрому бар жана жок учурларда микроциркуляциянын жана кычкылдануучу метаболизмдин көрсөткүчтөрүн салыштырма талдоо болду. Изилдөөнүн объектисин 60–75 жаштагы эки топко бөлүнгөн улгайган бейтаптар түздү, ар бир топто 20 адам ( $n = 40$ , эркектер – 26 (65 %), аялдар – 14 (35 %),  $p < 0,001$ ). Алынган маалыматтарды талдоо көрсөткөндөй, 2-типтеги кант диабетти бар бейтаптардын 35 %ында микроциркуляция көрсөткүчтөрү норма чегинде болгон, ал эми диабеттик таман синдрому менен татаалдашкан бейтаптарда мындай көрсөткүчтөр байкалган эмес (35 % каршы 0,  $p < 0,001$ ). Диабеттик таман синдрому менен татаалдашкан 2-типтеги кант диабетти бар бейтаптарда кычкылдануучу метаболизм көрсөткүчтөрүнүн төмөндөшү жөнөкөй диабетти бар бейтаптарга салыштырмалуу 3 эсе жогору болгон ( $p < 0,05$ ). Бул өз кезегинде диабеттик таман синдрому бар бейтаптарда никотинамидадениндинуклеотид коферментинин амплитудасынын 3 эсе компенсатордук жогорулашына алып келген ( $p < 0,05$ ). Лазердик доплердик флоуметрия боюнча микроциркуляция көрсөткүчтөрүнүн нормалдуу болушу кант диабетти бар бейтаптарда диабеттик таман синдрому өнүгүү коркунучун жокко чыгарбайт. Диабеттик таман синдрому бар бейтаптарда кычкылдануучу метаболизм көрсөткүчтөрүнүн төмөндөшү өнөкөт гипергликемия, микрососуддук бузулуулар жана сезгенүү менен шартталган кычкылдануу стрессинин натыйжасы болуп, бул ткандардын трофикасынын бузулушуна алып келет. Микроциркуляциянын жана тамандын трофикасынын абалын эрте аныктоо, ошондой эле булчуң, нерв жана эндотелий функцияларына багытталган кийлигишүүлөр микроциркуляцияны жакшыртуунун жана диабеттик жаралардын алдын алуунун натыйжалуу жолу болушу мүмкүн

**Негизги сөздөр:** микроциркуляция; лазердик доплердик флоуметрия; лазердик флуоресценттик спектроскопия; кычкылдануучу метаболизм; 2-типтеги кант диабетти; диабеттик таман синдрому



## Сравнительный анализ показателей микроциркуляции и окислительного метаболизма у лиц пожилого возраста с сахарным диабетом с и без диабетической стопы методами лазерной доплеровской флоуметрии и лазерной флуоресцентной спектроскопии

**Рима Насирова\***

Доктор медицинских наук, доцент

Азербайджанский государственный институт усовершенствования врачей имени А. Алиева  
AZ1012, ул. Музафара Гасанова, 35, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Айнур Гумматова**

Анестезиолог-реаниматолог

Центр научной хирургии имени академика М.А.Топчубашева  
AZ1122, ул. Аббаса Мирзы Шарифзаде, 196, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** Комплексное применение лазерной доплеровской флоуметрии и лазерной флуоресцентной спектроскопии является актуальным направлением современной клинической диагностики, позволяющий не только количественно оценить уровень тканевой перфузии у больных с сахарным диабетом, но и проанализировать механизмы регуляции микроциркуляции, что особенно важно при лечении пациентов с диабетической стопой и хронической ишемией. Целью данного исследования являлся сравнительный анализ показателей микроциркуляции и окислительного метаболизма у лиц пожилого возраста с сахарным диабетом с и без диабетической стопы. Объектом исследования служили пожилые пациенты в двух группах, в возрасте 60-75 лет, 20 человек в каждой группе ( $n = 40$ , мужчины – 26 (65 %), женщины – 14 (35 %),  $p < 0,001$ ). Анализ полученных данных показал, что у 35 % больных с сахарным диабетом 2-го типа показатели микроциркуляции оказались в пределах нормы по сравнению с больными с сахарным диабетом 2-го типа, осложненным диабетической стопой (35 % против 0,  $p < 0,001$ ). Снижение показателей окислительного метаболизма у больных с сахарным диабетом 2-го типа, осложненным диабетической стопой, было в 3 раза больше, чем у больных с сахарным диабетом 2-го типа ( $p < 0,05$ ). В свою очередь это привело к компенсаторному увеличению амплитуды кофермента никотинамидаденин-динуклеотида в 3 раза у больных с диабетической стопой ( $p < 0,05$ ). Наличие нормальных показателей микроциркуляции при лазерной доплеровской флоуметрии у больных сахарным диабетом не исключает риска развития диабетической стопы. Снижение показателей окислительного метаболизма у больных с диабетической стопой явилось следствием окислительного стресса, вызванный хронической гипергликемией, микрососудистыми нарушениями и воспалением, что привело к повреждению трофики тканей у данной категории больных. Раннее понимание состояния микроциркуляции и трофики стопы у пациентов с диабетом и вмешательство в мышечную, нервную и эндотелиальную функцию может быть эффективным способом улучшения микроциркуляции стопы и предотвращения диабетических язв

**Ключевые слова:** микроциркуляция; лазерная доплеровская флоуметрия; лазерная флуоресцентная спектроскопия; окислительный метаболизм; сахарный диабет 2-го типа; диабетическая стопа

### Suggested Citation:

Nasirova R, Gummatova A. Comparative analysis of microcirculation and oxidative metabolism indicators in elderly people with diabetes mellitus with and without diabetic foot using laser Doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy. Eurasian Health J. 2025;17(4):85-95. DOI: 10.54890/1694-8882-2025-4-85

\*Corresponding author



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## Введение

Сахарный диабет (СД) является глобальной проблемой здравоохранения. В 2021 году Международная федерация диабета подсчитала, что распространенность диабета среди людей в возрасте от 20 до 79 лет стала широкомасштабной и составила 10,5 % или 536,6 миллионам больных. Прогнозы показали, что эта цифра увеличится до 12,2 % (783,2 миллиона человек) к 2045 году [1]. Одним из наиболее распространенных и серьезных осложнений СД является диабетическая стопа (ДС) [2]. Однако, в условиях старения организма тоже происходят выраженные изменения в системе микроциркуляции и тканевого метаболизма, особенно в нижних конечностях, что может способствовать развитию хронических ишемических состояний и нарушений трофики тканей [3].

Противоречивые результаты сравнения базовой микроциркуляции у пожилых пациентов с СД и у условно здоровых добровольцев позволяют говорить о низкой информативности оценки базовой перфузии, связанной с диабетом [4,5]. Отдельные авторы не нашли значимых различий, другие отметили тенденцию к увеличению базового кровотока у пациентов с диабетом [6-8], а некоторые исследователи сообщали о снижении базового кровотока у пациентов с СД. Благодаря портативности использования беспроводных технологий, лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и лазерная флуоресцентная спектроскопия (ЛФС) подходят для ежедневного использования [9,10].

Результаты исследований беспроводных портативных динамических датчиков рассеивания света, реализующих обработку сигнала лазерной доплеровской флоуметрии подтвердили, что аппаратное исследование добровольцев может обнаруживать микрососудистые изменения, обусловленные как диабетом, так и старением [3,11,12]. Непрерывный и достаточный кровоток жизненно важен для функционирования клеток; таким образом, перфузия тканей, обычно количественно оцениваемая путем измерения объема крови, проходящей через микрососудистую сеть в заданном объеме ткани в течение определенного периода времени, является ключевым показателем здоровья органа или ткани. Поскольку региональный кровоток сильно влияет на метаболическую активность клеток, для авторов данной работы крайне важно разобраться в тонкостях характеристик и реактивности микрососудов, которые изменяются с возрастом, чтобы понять прогрессирующее ухудшение функции тканей из-за возрастного нарушения метаболической активности. Для лучшего понимания кровотока в микрососудах можно комбинировать микроскопию для определения парциального давления кислорода с помощью поверхностного электрода. В качестве альтернативы,

лазерная доплеровская флоуметрия может использоваться как самостоятельный метод оценки функции микрососудов, поскольку она позволяет измерять как поток, так и скорость эритроцитов [3,11].

Носимая ЛДФ обладает уникальным преимуществом в быстрой оценке подошвенной микроциркуляции на ранней стадии диабетических язв. В сочетании с вейвлет-анализом она позволяет количественно и качественно анализировать механизм регуляции микроциркуляции стопы. По сравнению со здоровыми взрослыми, у пациентов с диабетом при применении портативного ЛДФ наблюдалась значительно более низкая микроциркуляция стопы, главным образом в подошвенной области вблизи дистального конца стопы [8]. Диагностика кровообращения в микрососудах кожи и окислительного метаболизма биотканю пожилых лиц при диабете, позволяющая спрогнозировать наличие в организме микроциркуляторные нарушения, оценить их тяжесть и осуществить наблюдение во время терапии, является актуальным направлением исследования. Целью исследования был сравнительный анализ показателей микроциркуляции и окислительного метаболизма у лиц пожилого возраста с СД 2-го типа с и без диабетической стопы с сочетанным использованием ЛДФ и ЛФС нижних конечностей.

## Материалы и методы

В исследование было включено 40 пожилых пациентов в возрасте 60-75 лет. Исследование было проведено в отделении диабетической стопы Центра Научной Хирургии имени академика М.А. Топчубашева в течении двух месяцев (апрель, май 2025 года). Количество мужчин составило 26 (65 %) человек, женщин – 14 (35 %), по полу между пациентами наблюдаются статистические различия ( $\chi^2 = 7,200$ ,  $f = 0,008$ ,  $p < 0,001$ ). Больные были разделены на 2 группы: 20 пожилых больных с СД 2-го типа, осложненным ДС, получающие стационарное лечение и 20 пожилых добровольцев с СД 2-го типа (Рис. 1).

Критериями включения были наличие СД 2-го типа, осложненного ДС (2-я, 3-я, 4-я стадия ДС по Вагнеру) и без ДС. Критериями исключения являлись выраженные сердечно-сосудистые нарушения, септическое состояние, значительные когнитивные нарушения, исключающие контакт с пациентом. Область исследования – малярная поверхность большого пальца стопы. Исследования проводились в покое, без каких-либо функциональных проб, в течении 10 минут, после 30-ти минутного состояния покоя обследуемых. Для сочетанного применения ЛДФ и ЛФС использовали портативный аппарат «ЛАЗМА ПФ». У всех больных

было взято информированное согласие на проведение исследования. Анализировались средние арифметические значения перфузии (М), значения нутритивного кровотока (Мнутр), показатели

окислительного метаболизма (ПОМ), связывающие нутритивную составляющую перфузии крови и амплитуду флуоресценции кофермента никотинамидадениндинуклеотида (Анадн).



**Рисунок 1.** Лазерная доплеровская флоуметрия и лазерная флуоресцентная спектроскопия нижних конечностей у больных с ДС (слева) и пожилых добровольцев с СД 2-го типа (справа)

Источник: сделано авторами

Статистическая обработка проводилась с использованием программного обеспечения Statistics 16.0 для Windows (StatSoft Inc, USA) и StatTech-программы (ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели близкие к нормальному распределению представлялись в виде среднего арифметического (М) и стандартного отклонения (SD). Сравнение абсолютных значений выполнялось анализом многопольных таблиц сопряженности при помощи критерия хи-квадрата Пирсона ( $\chi^2$ ) и точного критерия Фишера (f). Различия между сравниваемыми величинами признавались статистически значимыми при уровне достоверности  $p < 0,050$  [13].

## Результаты

Контрольные значения показателей микроциркуляции и окислительного метаболизма у лиц старше 50 лет портативного анализатора «Лазма ПФ» (в перфузионных единицах) приведены следующим образом: М (показатель микроциркуляции) – 10,2-15,4; Мнутр (показатель нутритивного кровотока) – 1,9-2,3; Анадн (амплитуда флуоресценции кофермента никотинамидадениндинуклеотида) – 0,7-1,7; ПОМ (показатель окислительного метаболизма) – 0,6-1,62. Как можно увидеть из данных, из 20-ти больных с СД 2-го типа у 7-ми больных (35 %) показатели микроциркуляции (М) были в пределах нормальных контрольных значений (Таблица 1).

**Таблица 1.** Результаты обследования пациентов с сахарным диабетом 2-го типа, прошедших обследование микроциркуляции и окислительного метаболизма (абсолютные и относительные значения)

Показатели микроциркуляции и окислительного метаболизма	Кол-во пациентов с показателями в пределах нормы	Кол-во пациентов с показателями выше верхней границы контрольных значений	Кол-во пациентов с показателями ниже нижней границы контрольных значений
М	7 (35 %) ( $p < 0,001$ )	4 (20 %) ( $p > 0,05$ )	9 (45 %) ( $p > 0,05$ )
Мнутр	7 (35 %) ( $p < 0,001$ )	9 (45 %) ( $p > 0,05$ )	4 (20 %) ( $p > 0,05$ )
ПОМ	5 (25 %) ( $p > 0,05$ )	12 (60 %) ( $p > 0,05$ )	3 (15 %) ( $p < 0,05$ )
Анадн	6 (30 %) ( $p > 0,05$ )	2 (10 %) ( $p < 0,05$ )	12 (60 %) ( $p > 0,05$ )

Источник: создано авторами

У 9-ти больных (45 %) с СД 2-го типа было отмечено нарушения в виде снижения микроциркуляции и у 4-х больных (20 %) с СД 2-го типа в виде повышения микроциркуляции ( $p > 0,05$ ). Что касается ПОМ, из 20-ти больных с СД 2-го типа, у 12-ти (60 %) пациентов функциональное состояние микроциркуляторно-тканевой системы (ФС МТС) оказалось повышено

активным, что свидетельствует о превышении значений ПОМ относительно верхней границы контрольных значений; у 3-х (15 %) больных ФС МТС было в стадии декомпенсации. Только у 5-ти (25 %) пациентов ПОМ был в диапазоне контрольных значений (Таблица 1). У пожилых пациентов с диабетической стопой картина ЛДФ оказалась несколько иной (Таблица 2).

**Таблица 2.** Результаты обследования пациентов с сахарным диабетом 2-го типа с диабетической стопой, прошедших обследование микроциркуляции и окислительного метаболизма (абсолютные и относительные значения)

Показатели микроциркуляции и окислительного метаболизма	Кол-во пациентов с показателями в пределах нормы	Кол-во пациентов с показателями выше верхней границы контрольных значений	Кол-во пациентов с показателями ниже нижней границы контрольных значений
М	0 (p < 0,001)	8 (40 %) (p > 0,05)	12 (60 %) (p > 0,05)
Мнутр	0 (p < 0,001)	12 (60 %) (p > 0,05)	8 (40 %) (p > 0,05)
ПОМ	1 (5 %) (p > 0,05)	10 (50 %) (p > 0,05)	9 (45 %) (p < 0,05)
Анадн	2 (10 %) (p > 0,05)	6 (30 %) (p < 0,05)	12 (60 %) (p > 0,05)

Источник: создано авторами

Показатели микроциркуляции М и Мнутр в пределах контрольных значений не были обнаружены ни у одного пациента. У 12 (60 %) пациентов с диабетической стопой наблюдались нарушения микроциркуляции в виде снижения перфузии и у 8-и (40 %) больных с диабетической стопой нарушение микроциркуляции в виде повышения перфузии (p > 0,05). Снижение ПОМ обнаружено у 9-ти

пациентов (45 %) и повышение ПОМ у 10-ти (50 %) больных, и только у одного пациента (5 %) ПОМ было в пределах контрольных значений (Таблица 2). Между количеством больных с СД 2-го типа и количеством больных с СД 2-го типа, осложненным ДС, у которых показатели М и Мнутр отмечались в пределах нормы наблюдались значимые статистические различия ( $\chi^2 = 19,259$ , p < 0,001) (Таблица 3)

**Таблица 3.** Результаты статистической обработки показателей обследования микроциркуляции и окислительного метаболизма у больных сахарным диабетом 2-го типа и количеством больных с сахарным диабетом 2-го типа, осложненным диабетической стопой

Показатели микроциркуляции и окислительного метаболизма	Различия по показателями в пределах нормы	Различия по показателями выше верхней границы контрольных значений	Различия по показателями ниже нижней границы контрольных значений
М	$\chi^2 = 19,259$	$\chi^2 = 1,905$ p = 0,168 f = 0,300	$\chi^2 = 0,902$ p = 0,343 f = 0,366
Мнутр	$\chi^2 = 19,259$	$\chi^2 = 0,902$ p = 0,343 f = 0,366	$\chi^2 = 1,905$ p = 0,168 f = 0,300
ПОМ	$\chi^2 = 3,137$ p = 0,077 f = 0,101	$\chi^2 = 0,404$ p = 0,526 f = 0,751	$\chi^2 = 4,289$ p = 0,039 f = 0,048
Анадн	$\chi^2 = 2,500$ p = 0,114 f = 0,139	$\chi^2 = 4,800$ p = 0,029 f = 0,065	$\chi^2 = 0,404$ p = 0,526 f = 0,546

Источник: создано авторами

Между количеством больных с СД 2-го типа и количеством больных с СД 2-го типа, осложненным диабетической стопой по ПОМ в пределах нормы и ПОМ, превышающие верхнюю границу контрольных значений, статистические различия не отмечались (p > 0,05), но наблюдались значимые статистические различия по показателю ПОМ ниже нижней границы контрольных значений ( $\chi^2 = 4,289$ , p = 0,039, f = 0,048, p < 0,05). При сравнении показателей Анадн в пределах нормы и ниже контрольных значений между количеством больных с СД 2-го типа и количеством больных с СД 2-го типа, осложненным ДС не наблюдались

статистические различия (p > 0,05). В тоже время, статистические различия наблюдались при сравнении этих больных с показателями Анадн выше верхней границы контрольных значений (p < 0,05).

### Обсуждение

Анализ проведенных данных показал, что у 35 % больных с СД 2-го типа показатели микроциркуляции оказались в пределах нормы по сравнению с больными с СД 2-го типа, осложненным ДС (35 % против 0 %, p < 0,001). Это объясняется тем, что нарушения микроциркуляции не всегда проявляется на ранних стадиях, и у некоторых

пациентов с диабетом микроциркуляция может оставаться в пределах нормы, пока не разовьется диабетическая стопа, как показали в своих работах I. Mizeva *et al.* [7] и A.V. Skripal *et al.* [11]. Что касается показателей ПОМ при ЛФС, статистические различия наблюдались при сравнении групп больных по ПОМ, у которых данный показатель был ниже нижней границы контрольных значений у больных с СД 2-го типа и диабетической стопой ( $p < 0,05$ ). Снижение ПОМ у больных с СД 2-го типа, осложненным ДС, было в 3 раза больше, чем у больных с СД 2-го типа, что свидетельствует о превалировании нарушения трофики у этой группы больных. В связи с этим было отмечено компенсаторное увеличение Анадн в 3 раза у больных с диабетической стопой ( $p < 0,05$ ). Это объясняется тем, что при синдроме диабетической стопы наблюдается выраженный окислительный стресс, вызванный хронической гипергликемией, микрососудистыми нарушениями и воспалением, что приводит к избыточному образованию свободных радикалов и повреждению тканей [5,11]. Отсутствие статистической значимости между нарушениями микроциркуляции у больных с СД-2-го типа и больных с СД 2-го типа, осложненным ДС ( $p > 0,05$ ) при ЛДФ указывает на то, что, несмотря на наличие диабета, у 65 % больных микроциркуляция в тканях стопы не нарушена в достаточной степени, чтобы это было зафиксировано методом ЛДФ как статистически значимое изменение.

### **Выводы**

Полученные нормальные показатели микроциркуляции при лазерной доплеровской флоуметрии больных сахарным диабетом не исключает риска развития диабетической стопы. Несмотря

на наличие диабета, у 65 % больных микроциркуляция в тканях стопы не нарушена в достаточной степени, чтобы это было зафиксировано методом ЛДФ, как статистически значимое изменение. Зачастую статистическая значимость и мощность достигается не за счет увеличения величины различий, но и за счет включения большего числа испытуемых в исследование. Снижение показателей окислительного метаболизма у больных с диабетической стопой, как статистически значимое изменение, является следствием окислительного стресса, который усугубляет повреждение клеток и тканей, сложного взаимодействия нарушений микроциркуляции, нейропатии и других факторов, связанных с сахарным диабетом. Комплексная оценка состояния пациента и использование дополнительных методов диагностики позволяют выявить и устранить причины развития диабетической стопы. Кроме того, ЛДФ и ЛФС являются инструментальными методами персонализации лечения, позволяя перейти от групповых статистических показателей к анализу состояния конкретного пациента, что способствует улучшению прогноза и качества жизни.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность редакции «Евразийский журнал здравоохранения» за профессиональную и высококачественную редакционную работу над данной статьей.

### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.