

Перспективи використання лазерної доплерівської флоуметрії для оцінки шкірної мікроциркуляції крові при цукровому діабеті

For citation: Міжнародний ендокринологічний журнал. 2021;17(8):613-618. doi: 10.22141/2224-0721.17.8.2021.246793

Резюме. В статті розглянуті наукові та клінічні аспекти лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) у діагностиці стану мікроциркуляторного русла при цукровому діабеті (ЦД). ЛДФ — неінвазивний кількісний метод оцінки мікроциркуляції. Його можливості включають аналіз мікроциркуляторних ритмів і функціональне тестування з різними видами провокаційних проб, що забезпечує дослідження стану регуляторних механізмів мікроциркуляції. Труднощі вивчення мікроциркуляції зумовлені дуже малими розмірами мікросудин. Профілактика та лікування різних порушень мікроциркуляції є однією з найважливіших проблем медичної практики. Результати деяких досліджень свідчать про те, що порушення мікроциркуляції не тільки є патогенетичною ланкою в розвитку ускладнень, а й спостерігаються в пацієнтів із ранніми порушеннями вуглеводного обміну і можуть передувати маніфестації ЦД. Використання ЛДФ у наукових дослідженнях дозволить виявити характерні для ЦД зміни функціонування мікроциркуляторного русла. Можливість проведення неінвазивної кількісної оцінки стану мікроциркуляторного кровотоку в реальному часі та відносна простота використання пояснюють високу популярність ЛДФ у наукових дослідженнях та роблять цей метод перспективним для застосування в клінічній практиці. Даний метод може мати важливе діагностичне значення для дослідження стану різних рівнів регуляції мікроциркуляторного русла та динамічного спостереження й контролю ефективності лікування, що призначається. Комплексне застосування ЛДФ щодо виявлення ризику розвитку синдрому діабетичної стопи дозволить персоналізувати терапію цукрового діабету. Даний метод є найбільш перспективним при вивченні мікроциркуляції в рамках ранньої діагностики ЦД та його ускладнень, уточненні ризику розвитку ускладнень, моніторингу ефективності лікування. Розробка оптимальних методик оцінки мікроциркуляції є передумовою подальших досліджень.

Ключові слова: мікроциркуляція; лазерна доплерівська флоуметрія; цукровий діабет

Вступ

На сьогодні поширення цукрового діабету (ЦД) 2-го типу набуло пандемічного характеру [1, 2]. Дане захворювання належить до однієї з найважливіших медико-соціальних проблем сучасності і має глобальний характер, що пов'язано зі значною його поширеністю та з тенденцією до подальшого збільшення хворих на ЦД [3].

Згідно з даними, опублікованими в Атласі Міжнародної діабетичної федерації (IDF), 537 мільйонів дорослих осіб зараз живуть із ЦД. Якщо необхідних заходів щодо боротьби з пандемією не буде вжито, до 2030 року налічуватиметься 643 мільйони осіб із ЦД. До 2045 року ця кількість становитиме більше як 700 мільйонів [4].

ЦД — захворювання, що найбільш загрозливе своїми ускладненнями. Синдром діабетичної стопи (СДС) та патології нижніх кінцівок уражають від 40 до 60 мільйонів осіб із ЦД у всьому світі [5, 6]. Хворі на діабет мають ризик ампутацій, що може бути більше ніж у 25 разів вищим, ніж в осіб без ЦД [7].

Однак при комплексному лікуванні можна запобігти значній частині ампутацій, пов'язаних із ЦД. Тому на сьогодні стратегічним напрямком системи охорони здоров'я кожної країни є не лише лікування, але й рання діагностика і профілактика ускладнень діабету з метою збереження здоров'я населення, покращення якості життя і, відповідно, економічного розвитку [8].

 © 2021. The Authors. This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows others to freely distribute the published article, with the obligatory reference to the authors of original works and original publication in this journal.

Для кореспонденції: Шаєнко Златослава Олександрівна, к.м.н., асистент кафедри ендокринології з дитячими інфекційними хворобами, Полтавський державний медичний університет, вул. Шевченка, 23, м. Полтава, 36011, Україна; e-mail: Zlataligonenko@gmail.com; контактний тел.: +38(050) 033-33-92.

For correspondence: Zlatoslava Shaienko, PhD, Assistant of the Department of Endocrinology with Pediatric Infectious Diseases, Poltava State Medical University, Shevchenko st., 23, Poltava, 36011, Ukraine; e-mail: Zlataligonenko@gmail.com, contact phone: +38(050) 033-33-92.

Full list of authors information is available at the end of the article.

У патогенезі ускладнень ЦД важливу роль відіграють системні мікроциркуляторні порушення [9, 10]. Вони призводять до розвитку мікроангіопатії та нейропатії через первинне ураження судин, що беруть участь у кровопостачанні периферичних відділів нервової системи. На сьогодні менше ніж третина лікарів розпізнають ознаки периферичної нейропатії, пов'язаної з ЦД. Несвоєчасна діагностика значною мірою сприяє високій захворюваності, інвалідизації та смертності [11, 12].

Рутинною процедурою, що дозволяє охарактеризувати стан мікроциркуляції, є огляд очного дна офтальмологом. Це метод суб'єктивний, що виявляє мікроциркуляторні зміни вже після маніфестації ускладнень, не дозволяючи проводити їх ранню діагностику [13], що в результаті не дає повною мірою реалізувати можливості оцінки мікроциркуляції в пацієнтів для більш ефективного контролю захворювання [14].

Альтернативною локалізацією для оцінки стану мікроциркуляторної сітки може бути найдоступніший для цього орган — шкіра [15]. Існує безліч методів оцінки шкірного кровотоку: відеокапіляроскопія, оптична когерентна томографія, лазерна доплерівська візуалізація та ін. [16].

Метод лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) виділяється серед інших методів можливістю неінвазивно проводити тести з різними видами функціональних впливів, є відносно недорогим та простим у використанні, що зумовлює високий інтерес [17–19].

Метою даної статті є вивчення досвіду застосування лазерної доплерівської флоуметрії в клінічній практиці як методу дослідження стану мікроциркуляторного русла у хворих на цукровий діабет.

Результати та обговорення

Інтерес до дослідження мікросудинного русла системи кровообігу обумовлений значною роллю капілярів у здійсненні основних процесів життєдіяльності організму, трофічному забезпеченні органів та їх безпосередньою участю в тканинному та клітинному диханні [20, 21]. Система мікроциркуляції — одна з тих важливих систем, у яких різні хвороби виявляються на ранніх стадіях. Від узгодженої роботи серця, великих кровоносних магістралей та судин мікроциркуляції загалом залежать здоров'я та тривалість життя людини [22].

Неінвазивні методи мають низку переваг: вони більш доступні, здійснюються з мінімальними витратами часу, не мають протипоказань до дослідження, дають чітко виражений результат, дослідження можуть широко застосовуватися в клініці, одержані показники можуть бути використані в діагностиці та вплинути на тактику лікування, зменшити термін перебування в клініці [23].

Перше використання ЛДФ для оцінки мікроциркуляції крові датується 1972 роком, коли С. Riva і співавт. виміряли перфузію сітківки кролика [24]. У медичній практиці метод уперше був застосований у 1980-х роках. У 1982 р. J.E. Damber та співавт. провели велику роботу з адаптації методу для вимірювання шкірної мікроциркуляції крові [25].

Принцип роботи ЛДФ полягає в зондуванні тканини лазерним випромінюванням, реєстрації відбитого сигналу й аналізі доплерівського зсуву частоти випромінювання, що відбувається і розсіюється при взаємодії

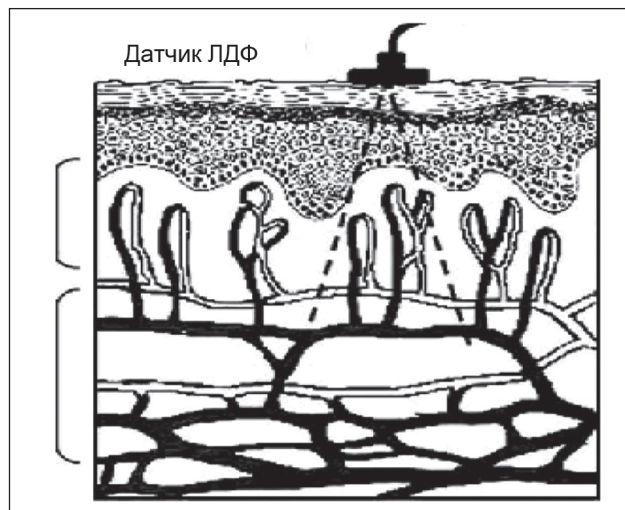


Рисунок 1. Схема оптичного зондування тканини апаратом лазерної доплерівської флоуметрії

з рухомими еритроцитами. Аналізована глибина тканини становить у середньому близько 1 мм (рис. 1). Цей шар може містити, залежно від типу тканини, такі ланки мікроциркуляторного русла: артеріоли, термінальні артеріоли, капіляри, посткапілярні венули, венули та артеріоловенулярні анастомози [26].

Метод дозволяє неінвазивно вимірювати мікроциркуляцію в різних локалізаціях: шкірі, слизових оболонках. Аналізований кінцевий параметр називають перфузією. Він вимірюється у відносних або перфузійних одиницях і прямо пропорційний кількості еритроцитів та їх середній швидкості. Найпростішим способом дослідження кровотоку за допомогою ЛДФ є реєстрація базової перфузії [27]. Рівень перфузії відмічається приладом у реальному часі, після чого формується графік тимчасової залежності перфузії — ЛДФ-грама. Рутинний аналіз ЛДФ-грами полягає в розрахунку середнього значення, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації перфузії за певний період часу [28].

За результатами оцінки ЛДФ визначається тип кровотоку, відповідно до якого можна встановити наявність або відсутність ураження ендотелію та дати оцінку ефективності призначеної терапії [29]: 1. Нормотонічний. 2. Спаситичний (підвищення тонуусу мікросудин і зниження притоку крові в мікроциркуляторне русло за рахунок спазму прекапілярних сфінктерів). 3. Гіперемічний (збільшення притоку крові в систему мікроциркуляторного русла, що пов'язано з дилатацією мікросудин). 4. Застійно-стазичний (при парезі судин притоку і порушенні відтоку на рівні капілярної і посткапілярної ланки) (рис. 2).

Разом із вимірюванням базового рівня перфузії для вивчення шкірної мікроциркуляції крові за допомогою ЛДФ застосовуються різні функціональні проби. Вони дозволяють підвищити інформативність дослідження за допомогою оцінки додаткового залучення регуляторних механізмів у вигляді зовнішніх стимулів. Однією з найчастіше використовуваних функціональних проб є оклюзійна проба [23]. Мета проби полягає в тимчасовій оклюзії кровотоку (за допомогою нагнітання тиску в манжеті сфінгоманометра до супрасistolічних значень) на верхній або нижній

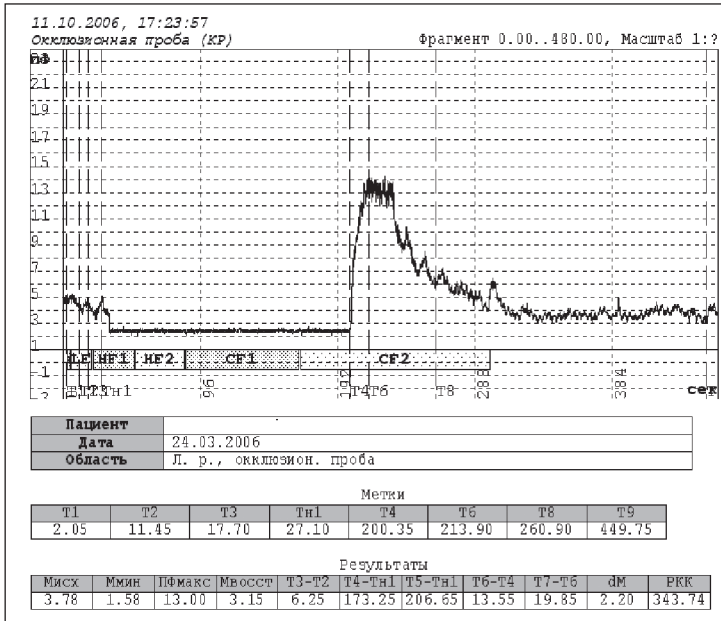


Рисунок 2. Нормоциркуляторний тип мікроциркуляції

кінцівці з подальшою реестрацією постоклюзійної реактивної гіперемії. Тривалість оклюзії може становити від однієї до п'яти хвилин, величина тиску, що нагнітається, перебуває в межах від рівня на 40 мм рт.ст. вище систолічного до фіксованого значення 300 мм рт.ст. [23]. Способи обробки результатів також можуть відрізнятися: дослідники аналізують максимальні, середні, відносні значення постоклюзійної гіперемії, розраховують площу під графіком та ін. [30]. Попри велику кількість робіт із застосуванням даної проби, зіставлення результатів досліджень утруднене через відсутність стандартизації вимірювань.

Іншими пробами, що часто використовуються, є температурна, дихальна і фармакологічна. Методики їх проведення значно варіюють у різних дослідженнях [23]. При використанні фармакологічних проб на результат вимірювань впливають фактори, що визначають ефективність іонофорезу: тривалість процедури, рН розчину та його концентрація, властивості розчинника, товщина шкірних покривів, їх електрична опірність, щільність розташування

сальних, потових залоз та інтенсивність їх активності, а також низка інших параметрів.

На медичному ринку представлені контактні (рис. 3, 4) і безконтактні (системи, що сканують) флоуметри з передачею даних на комп'ютер, телефон і відповідний пристрій лікаря.

Мітохондріальний стрес — основний медіатор нейродегенерації при ЦД. Високий рівень глюкози в тканинах обумовлює накопичення в мітохондріях відновленого нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАДН). Дисбаланс редокс-системи (порушення співвідношення НАДН та окисненого нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАД)), окисний стрес (утворення вільних радикалів) та мітохондріальний стрес також беруть участь у пошкодженні тканин при ЦД. Поліолсорбітоловий шлях обміну активується гіперглікемією. Тривала гіперглікемія токсична для макро- та мікросудинної системи, цей феномен відомий як глюкозотоксичність. Динаміку коферментів енергетичного метаболізму — флавінаденіндинуклеотиду та НАДН та порушення окисного метаболізму мож-

на досліджувати за допомогою лазерної флуоресцентної спектроскопії (ЛФС) [32, 33]. Незаперечний потенціал комбінованої, одночасної оцінки доставки крові в систему мікроциркуляції методом ЛДФ та окисного метаболізму з біомаркерів-коферментів тканини способом ЛФС. Поєднання зазначених методів діагностики в діабетології дозволяє оцінити ризик розвитку СДС [34, 35].

Підсумовуючи наведені дані, слід зазначити, що такі переваги ЛДФ, як неінвазивність, можливість кількісної оцінки стану мікроциркуляції, використання функціональних проб для визначення різних регуляторних механізмів, зробили цей метод одним із найпоширеніших способів оцінки мікроциркуляції (рис. 5). Значна частина наукових публікацій на тему ЛДФ пов'язана з вивченням мікроциркуляції при ЦД, артеріальній гіпертензії, опіках, а також станах, що характеризуються порушеннями реології крові та гемостазу. Попри велику кількість робіт у цій галузі, порівняння результатів окремих досліджень, а тим більше впровадження цих результатів у клінічну



Рисунок 3. Портативні лазерні флоуметри

практику ускладнюються низкою метрологічних та методологічних аспектів: відсутністю стандартизації проб, методик реєстрації даних, конструктивними відмінностями приладів для вимірювання та ін. [29].

ЛДФ є найбільш перспективним методом при вивченні мікроциркуляції в рамках ранньої діагностики ЦД та його ускладнень, уточненні ризику розвитку ускладнень, моніторингу ефективності лікування.

Результати наукових досліджень, проведених із застосуванням ЛДФ, дозволяють говорити про те, що метод дає можливість виявляти притаманні хворим на ЦД зміни мікроциркуляції, такі як порушення ендотеліальної функції та нервової регуляції судинного тонусу в різних проявах. ЛДФ також продемонструвала здатність визначати особливості мікроциркуляції в осіб із ранніми порушеннями вуглеводного обміну та високим

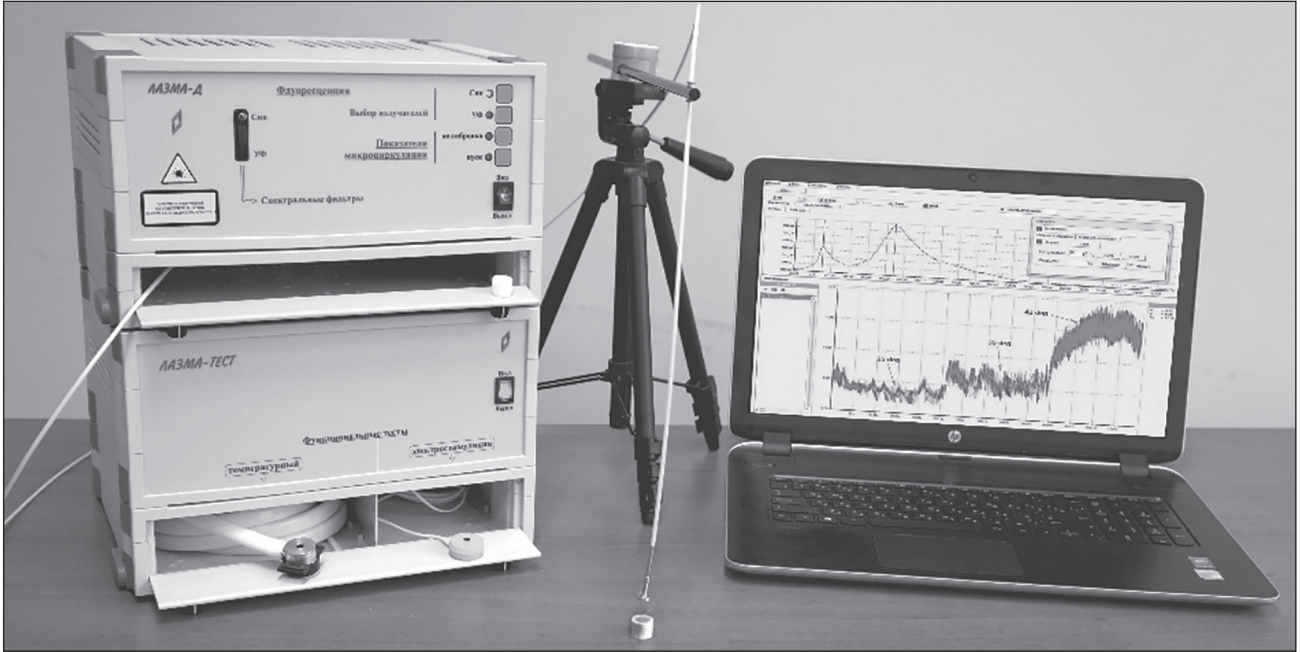


Рисунок 4. Лазерний діагностичний апарат

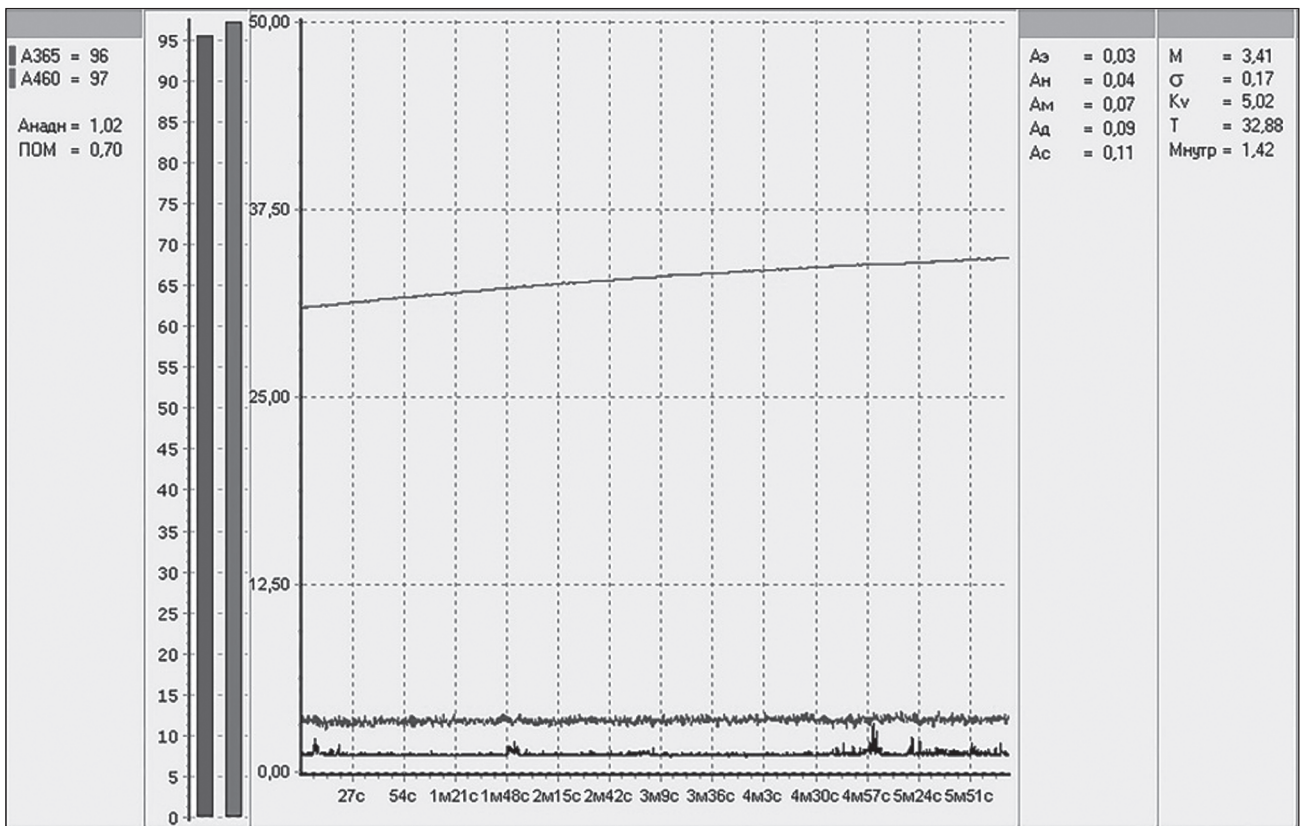


Рисунок 5. Протокол дослідження

ризиком розвитку ЦД. Можливо, у майбутньому стане можливим перейти від суто наукового використання методу до його практичного застосування в клініці для діагностики порушень у конкретного пацієнта.

Більшість пацієнтів із ЦД не мають інформації щодо розвитку в них ускладнень ЦД, і тому ця когорта пацієнтів потребує постійного обстеження і виявлення уражень на ранній стадії.

Висновки

Можливість проведення неінвазивної кількісної оцінки стану мікроциркуляторного кровотоку в реальному часі та відносна простота використання пояснюють високу популярність ЛДФ у наукових дослідженнях та роблять цей метод перспективним для застосування в клінічній практиці. Даний метод може мати важливе діагностичне значення для дослідження стану різних рівнів регуляції мікроциркуляторного русла та динамічного спостереження за контролем ефективності лікування, що призначається. Комплексне застосування ЛДФ та ЛФС щодо виявлення ризику розвитку синдрому діабетичної стопи дозволить персоніфікувати терапію цукрового діабету. Розробка оптимальних оціночних методик мікроциркуляції є перспективою подальших досліджень.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

References

1. Khan MAB, Hashim MJ, King JK, Govender RD, Mustafa H, Al Kaabi J. Epidemiology of Type 2 Diabetes - Global Burden of Disease and Forecasted Trends. *J Epidemiol Glob Health*. 2020 Mar;10(1):107-111. doi:10.2991/jegh.k.191028.001.
2. Zheng Y, Ley SH, Hu FB. Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nat Rev Endocrinol*. 2018 Feb;14(2):88-98. doi:10.1038/nrendo.2017.151.
3. Lin X, Xu Y, Pan X, et al. Global, regional, and national burden and trend of diabetes in 195 countries and territories: an analysis from 1990 to 2025. *Sci Rep*. 2020 Sep 8;10(1):14790. doi:10.1038/s41598-020-71908-9.
4. Saeedi P, Petersohn I, Salpea P, et al; IDF Diabetes Atlas Committee. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. *Diabetes Res Clin Pract*. 2019 Nov;157:107843. doi:10.1016/j.diabres.2019.107843.
5. Khan A, Junaid N. Prevalence of diabetic foot syndrome amongst population with type 2 diabetes in Pakistan in primary care settings. *J Pak Med Assoc*. 2017 Dec;67(12):1818-1824.
6. Zhang P, Lu J, Jing Y, Tang S, Zhu D, Bi Y. Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis. *Ann Med*. 2017 Mar;49(2):106-116. doi:10.1080/07853890.2016.1231932.
7. Paisey RB, Abbott A, Levenson R, et al; South-West Cardiovascular Strategic Clinical Network peer diabetic foot service review team. Diabetes-related major lower limb amputation incidence is strongly related to diabetic foot service provision and improves with enhancement of services: peer review of the South-West of England. *Diabet Med*. 2018 Jan;35(1):53-62. doi:10.1111/dme.13512.
8. Thomas E. Preventing amputation in adults with diabetes: identifying the risks. *Nurs Stand*. 2015 Jun 3;29(40):49-58. doi:10.7748/ns.29.40.49.e9708.
9. Strain WD, Paldanius PM. Diabetes, cardiovascular disease and the microcirculation. *Cardiovasc Diabetol*. 2018 Apr 18;17(1):57. doi:10.1186/s12933-018-0703-2.
10. Herdade AS, Silva IM, Calado Â, et al. Effects of Diabetes on Microcirculation and Leukostasis in Retinal and Non-Ocular Tissues: Implications for Diabetic Retinopathy. *Biomolecules*. 2020 Nov 21;10(11):1583. doi:10.3390/biom10111583.
11. Sun PC, Kuo CD, Chi LY, Lin HD, Wei SH, Chen CS. Microcirculatory vasomotor changes are associated with severity of peripheral neuropathy in patients with type 2 diabetes. *Diab Vasc Dis Res*. 2013 May;10(3):270-6. doi:10.1177/1479164112465443.
12. Tomešová J, Gruberova J, Lacigova S, Cechurova D, Janekovec Z, Rusavy Z. Differences in skin microcirculation on the upper and lower extremities in patients with diabetes mellitus: relationship of diabetic neuropathy and skin microcirculation. *Diabetes Technol Ther*. 2013 Nov;15(11):968-75. doi:10.1089/dia.2013.0083.
13. Herdade AS, Silva IM, Calado Â, et al. Effects of Diabetes on Microcirculation and Leukostasis in Retinal and Non-Ocular Tissues: Implications for Diabetic Retinopathy. *Biomolecules*. 2020 Nov 21;10(11):1583. doi:10.3390/biom10111583.
14. Cankurtaran V, Inanc M, Tekin K, Turgut F. Retinal Microcirculation in Predicting Diabetic Nephropathy in Type 2 Diabetic Patients without Retinopathy. *Ophthalmologica*. 2020;243(4):271-279. doi:10.1159/000504943.
15. Santesson P, Lins PE, Kalani M, et al. Skin microvascular function in patients with type 1 diabetes: An observational study from the onset of diabetes. *Diab Vasc Dis Res*. 2017 May;14(3):191-199. doi:10.1177/1479164117694463.
16. Neubauer-Geryk J, Kozera GM, Wolnik B, Szczyrba S, Nyka WM, Bieniaszewski L. Decreased reactivity of skin microcirculation in response to L-arginine in later-onset type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2013 Apr;36(4):950-6. doi:10.2337/dc12-0320.
17. Sander SV. Comparative characteristics of laser photoplethysmography and laser doppler flowmetry for testing of foot blood supply. *Clinical Anatomy and Operative Surgery*. 2017;16(2):94-97. doi:10.24061/1727-0847.16.1.2017.53. (in Ukrainian).
18. Zegarra-Parodi R, Snider EJ, Park PY, Degenhardt BF. Laser Doppler flowmetry in manual medicine research. *J Am Osteopath Assoc*. 2014 Dec;114(12):908-17. doi:10.7556/jaoa.2014.118.
19. Rajan V, Varghese B, van Leeuwen TG, Steenbergen W. Review of methodological developments in laser Doppler flowmetry. *Lasers Med Sci*. 2009 Mar;24(2):269-83. doi:10.1007/s10103-007-0524-0.
20. Guven G, Hilty MP, Ince C. Microcirculation: Physiology, Pathophysiology, and Clinical Application. *Blood Purif*. 2020;49(1-2):143-150. doi:10.1159/000503775.
21. Jacob M, Chappell D, Becker BF. Regulation of blood flow and volume exchange across the microcirculation. *Crit Care*. 2016 Oct 21;20(1):319. doi:10.1186/s13054-016-1485-0.
22. Vaghefi E, Donaldson PJ. The lens internal microcirculation system delivers solutes to the lens core faster than would be predicted by passive diffusion. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2018 Nov 1;315(5):R994-R1002. doi:10.1152/ajpregu.00180.2018.
23. Kulikov D, Glazkov A, Dreval A, et al. Approaches to improve the predictive value of laser Doppler flowmetry in detection of microcirculation disorders in diabetes mellitus. *Clin Hemorheol Mi-*

crocirc. 2018;70(2):173-179. doi:10.3233/CH-170294.

24. Riva C, Ross B, Benedek GB. Laser Doppler measurements of blood flow in capillary tubes and retinal arteries. *Invest Ophthalmol.* 1972 Nov;11(11):936-44.

25. Damber JE, Lindahl O, Selstam G, Tenland T. Testicular blood flow measured with a laser Doppler flowmeter: acute effects of catecholamines. *Acta Physiol Scand.* 1982 Jun;115(2):209-15. doi:10.1111/j.1748-1716.1982.tb07067.x.

26. Omarjee L, Larralde A, Jaquinandi V, Stivalet O, Mahe G. Performance of noninvasive laser Doppler flowmetry and laser speckle contrast imaging methods in diagnosis of Buerger disease: A case report. *Medicine (Baltimore).* 2018 Oct;97(43):e12979. doi:10.1097/MD.00000000000012979.

27. Haj-Hosseini N, Richter JCO, Milos P, Hallbeck M, Wärddell K. 5-ALA fluorescence and laser Doppler flowmetry for guidance in a stereotactic brain tumor biopsy. *Biomed Opt Express.* 2018 Apr 20;9(5):2284-2296. doi:10.1364/BOE.9.002284.

28. Neubauer-Geryk J, Hoffmann M, Wielicka M, et al. Current methods for the assessment of skin microcirculation: Part 1. *Postepy Dermatol Alergol.* 2019 Jun;36(3):247-254. doi:10.5114/ada.2019.83656.

29. Vasiliev AP, Streltsova NN. Laser doppler flowmetry in assessment of specifics of skin microhemocirculation in hypertensive patients and in its comorbidity with 2 type diabetes mellitus. *Russian Journal of Cardiology.* 2015;(12):20-26. (in Russian). doi:10.15829/1560-4071-2015-12-20-26.

30. Lal C, Unni SN. Correlation analysis of laser Doppler flowmetry signals: a potential non-invasive tool to assess microcirculatory changes in diabetes mellitus. *Med Biol Eng Comput.* 2015 Jun;53(6):557-66. doi:10.1007/s11517-015-1266-y.

31. Fernyhough P, McGavock J. Mechanisms of disease: Mitochondrial dysfunction in sensory neuropathy and other com-

plications in diabetes. *Handb Clin Neurol.* 2014;126:353-77. doi:10.1016/B978-0-444-53480-4.00027-8.

32. Makmatov-Rys M, Raznitsyna I, Chursinova Y, et al. Perspectives on using laser fluorescence spectroscopy in chronological skin ageing assessment. *Acta Dermatovenerol Alp Pannonica Adriat.* 2020 Jun;29(2):77-79.

33. Viktoriya A, Irina R, Anastasiia G, et al. Laser fluorescence spectroscopy in predicting the formation of a keloid scar: preliminary results and the role of lipopigments. *Biomed Opt Express.* 2020 Mar 2;11(4):1742-1751. doi:10.1364/BOE.386029.

34. Nijenhuis-Rosien L, Kleefstra N, van Dijk PR, et al. Laser therapy for onychomycosis in patients with diabetes at risk for foot ulcers: a randomized, quadruple-blind, sham-controlled trial (LASER-1). *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2019 Nov;33(11):2143-2150. doi:10.1111/jdv.15601.

35. Huang J, Chen J, Xiong S, Huang J, Liu Z. The effect of low-level laser therapy on diabetic foot ulcers: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Int Wound J.* 2021 Dec;18(6):763-776. doi:10.1111/iwj.13577.

Отримано/Received 11.11.2021

Рецензовано/Revised 26.11.2021

Прийнято до друку/Accepted 07.12.2021 ■

Information about authors

Zlatoslava Shaienko, PhD, assistant of the department of endocrinology with pediatric infectious diseases, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; e-mail: Zlataligonenko@gmail.com, contact phone: +38(050) 033-33-92; <https://orcid.org/0000-0002-8718-7589>.

Oleksij Ligonenko, MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Surgery, Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-6700-2882>.

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and their own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of their manuscript.

Z.O. Shaienko, O.V. Ligonenko

Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine

Prospects for the use of laser Doppler flowmetry to assess cutaneous blood microcirculation in diabetes mellitus

Abstract. The article considers the scientific and clinical aspects of laser Doppler flowmetry (LDF) in the diagnosis of the state of the microcirculatory bed in diabetes mellitus. LDF is a non-invasive quantitative method of microcirculation assessment; its capabilities include the analysis of microcirculatory rhythms and functional testing with different types of provocation tests, which provides a study of the state of regulatory mechanisms of microcirculation. The difficulties with studying the microcirculation are caused by the very small size of microvessels. The prevention and treatment of various microcirculatory disorders is one of the most important problems in medical practice. The findings of some studies suggest that microcirculatory disorders are not only a pathogenetic link in the development of complications, but are also observed in patients with early disorders of carbohydrate metabolism and may precede the manifestation of diabetes mellitus. The use of LDF in scientific researches will make it possible to reveal changes in microcirculatory bed functioning that are characteristic of diabetes mellitus.

The possibility of non-invasive quantitative assessment of the state of microcirculatory blood flow in real time and the relative ease of use explains the high popularity of LDF in scientific researches and makes this method promising for use in clinical practice. This method can be of important diagnostic value for the study of the state of different levels of regulation of the microcirculatory tract and dynamic monitoring of the effectiveness of the prescribed treatment. Combined use of LDF to identify the risk of developing diabetic foot syndrome will allow to personify the treatment of diabetes. Among the most promising points of application should be noted the study of microcirculation in the early diagnosis of diabetes and its complications, clarifying the risk of complications, monitoring the effectiveness of treatment. The development of optimal evaluation methods of microcirculation is a prospect for further research.

Keywords: microcirculation; laser Doppler flowmetry; diabetes mellitus