



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

Анастезиолог-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 (χ^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 которой 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.