

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ INTERNAL DISEASES

УДК 616.833.581:616.379-008.64]-073.43

DOI 10.52575/2687-0940-2024-47-2-143-157

Оригинальная статья

Ультразвуковые особенности малоберцового нерва при сахарном диабете 2 типа

Стефаненко А.В.¹ , Багрий А.Э.¹ , Орехова А.О.² ,
Михайличенко Е.С.¹ , Приколота А.В.¹ , Стефаненко Е.Р.¹

¹ Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького
Министерства здравоохранения Российской Федерации,

Россия, 283003, Донецкая Народная Республика, г. о. Донецкий, г. Донецк, проспект Ильича, д. 16;

² Дорожная клиническая больница станции Донецк,

Россия, 283048, Донецкая Народная Республика, г. о. Донецкий, г. Донецк,
ул. Университетская, 60

E-mail: zamrektora-poslediplom@dnmu.ru; liza.tsirkovskaya@mail.ru

Аннотация. Цель работы – изучение ультразвуковых особенностей малоберцовых нервов у лиц с сахарным диабетом 2 типа, сопоставление их с симптоматикой диабетической периферической нейропатии и характеристиками диабета. Объекты и методы. Обследовано 67 больных: средний возраст $59,4 \pm 9,7$, длительность диабета ≥ 7 лет. Пациентов обследовали клинически, изучали содержание инсулина, провоспалительных маркеров. Диабетическую нейропатию диагностировали с оценкой болевой, тактильной и вибрационной чувствительности. При ультразвуковом исследовании изучали площадь поперечного сечения, эхогенность и структуру. Результаты: изменения ультразвуковых характеристик малоберцовых нервов были у 92,5 % больных, клиника нейропатии – у 49,2 %. Чаще встречалось увеличение площади поперечного сечения, гипоехогенность и гипоехогенный ободок. У пациентов с клиникой нейропатии выраженные эхографические изменения встречались чаще. Ультразвуковые изменения были сопоставимы с давностью диабета, гликированным гемоглобином, возрастом, метаболическим синдромом и наличием других осложнений. Выводы: ультразвуковое исследование периферических нервов возможно использовать для ранней диагностики диабетической периферической нейропатии.

Ключевые слова: сахарный диабет, осложнения сахарного диабета, диабетическая периферическая нейропатия, ультразвуковая диагностика, малоберцовый нерв

Для цитирования: Стефаненко А.В., Багрий А.Э., Орехова А.О., Михайличенко Е.С., Приколота А.В., Стефаненко Е.Р. 2024. Ультразвуковые особенности малоберцового нерва при сахарном диабете 2 типа. *Актуальные проблемы медицины*, 47(2): 143–157. DOI: 10.52575/2687-0940-2024-47-2-143-157

Финансирование: Работа выполнена без внешних источников финансирования.



Ultrasound Features of the Peroneal Nerve in Type 2 Diabetes Mellitus

Artem V. Stefanenko¹, Andrey E. Bagriy¹, Anastasiya O. Orekhova²,
Evgeniya S. Mikhailichenko¹, Alina V. Prikolota¹, Elizaveta R. Stefanenko¹

¹M. Gorky Donetsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,
16 Il'ich Ave., Donetsk 283003, Donetsk People's Republic, Russia;

²Railway Clinical Hospital of Donetsk Station,
60 Universitetskaya St., Donetsk 283048, Donetsk People's Republic, Russia

E-mail: zamrektora-poslediplom@dnmu.ru; liza.tsirkovskaya@mail.ru

Abstract. The aim of the work is to study the ultrasound features of the peroneal nerves in people with type 2 diabetes mellitus and compare them with the symptoms of diabetic peripheral neuropathy and the characteristics of diabetes. The study included 67 patients (average age $59,4 \pm 9.7$ years) with type 2 diabetes mellitus duration least 7 years. All patients underwent standard general clinical and biochemical examinations, insulin and proinflammatory biomarkers blood levels were assessed. Diabetic peripheral neuropathy was diagnosed by assessing pain, tactile and vibration sensitivity. The presence and severity of neuropathic pain were determined on the basis of a DN4 questionnaire and a visual analog scale. All patients underwent ultrasound examination of the peroneal nerves: the cross-sectional area of the nerve, its echogenicity and structure were studied. The results of the study allow us to state in the overwhelming majority of people with a long course of type 2 diabetes mellitus and unsatisfactory glycemic control the presence of significant changes in peripheral nerves according to ultrasound examination (92,5 % of cases), including in the absence of clinical manifestations of diabetic peripheral neuropathy. Among patients with clinical manifestations of diabetic peripheral neuropathy (49,3 %), significant ultrasound changes in the peroneal nerves were more common than in those with no symptoms of this complication and correlated with the prescription of diabetes mellitus, glycated hemoglobin levels, age, manifestations of metabolic syndrome and the presence of other micro- and macrovascular complications. The study results suggest the possibility of wider use of peroneal nerves ultrasound examination for early diagnosis of diabetic peripheral neuropathy, its course prediction and, probably, can be used to improve the principles of choosing therapeutic tactics in patients with type 2 diabetes mellitus.

Keywords: diabetes mellitus, complications of diabetes mellitus, diabetic peripheral neuropathy, ultrasound diagnosis, peroneal nerve

For citation: Stefanenko A.V., Bagriy A.E., Orekhova A.O., Mikhailichenko E.S., Prikolota A.V., Stefanenko E.R. 2024. Ultrasound Features of the Peroneal Nerve in Type 2 Diabetes Mellitus. *Challenges in Modern Medicine*, 47(2): 143–157 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0940-2024-47-2-143-157

Funding: The work was carried out without external sources of funding.

Введение

Количество больных с сахарным диабетом (СД) в мире за последние 20 лет увеличилось в 3 раза, ситуацию с диабетом отечественные и международные эксперты обозначают как «неинфекционную пандемию» [Дедов и др., 2019; Игнатенко и др., 2022; Sun et al., 2022]. По данным Международной Федерации Диабета [Sun et al., 2022], распространенность СД в мире составляет около 9,3 %, еще около 7,5 % населения имеют так называемые «дисгликемии» (куда входят нарушенная толерантность к глюкозе, метаболический синдром, а также умеренное повышение гликемии натощак, не достигающее критериев диагностики СД – в последнее время для обозначения этих состояний также используется понятие «предиабет») [Дедов и др., 2023]. Для СД характерным является развитие различных микро- и макрососудистых осложнений (включая ретинопатию, нефропатию, нейропатию, ишемическую бо-

лезнь сердца, сосудисто-мозговые и периферические сосудистые нарушения), в числе коморбидных состояний часто представлены неалкогольная жировая болезнь печени и гипотиреоз [Saini et al., 2021]. На лечение больных с СД и его осложнениями в мире ежегодно затрачивается около 10 % бюджета систем здравоохранения, что может составлять до 760 млрд долларов США [Sun et al., 2022]. Среди микрососудистых осложнений СД наиболее распространенной и одной из наиболее весомых по затратам на лечение многие авторы признают диабетическую периферическую нейропатию (ДПН), развитие которой констатируется примерно у 30–50 % больных с диабетом обоих типов; этот процент отчетливо зависит от продолжительности диабета [Антонова, Танащян, 2022; Carmichael et al., 2021]. Среди проблем, ассоциированных с ДПН, особенно значимыми признаются сложности ее диагностики и необходимость мультидисциплинарного подхода для достижения приемлемых результатов лечения [Ахмеджанова и др., 2022].

Несмотря на длительное изучение, подходы к диагностике ДПН остаются предметом обсуждения, предлагаются различные методы, валидность которых дискутируется [Котов и др., 2017]. Среди скрининговых подходов наиболее распространены различные анкеты, опросники и шкалы (NSS, DNS, NPQ, NIS-LL, MNDS, LANSS, DN4 и др.), исследования болевой, тактильной и температурной чувствительности [Храмылин и др., 2020; Ахмеджанова и др., 2022]. Требуемыми специализированного оборудования, а поэтому более дорогими и менее доступными экспресс-методами, используемыми для выявления ДПН преимущественно в западных клиниках, являются автоматизированные системы Neuropad и Sudoscan (с оценкой судомоторной функции), а также системы качественной и количественной оценки порога болевой и температурной чувствительности [Selvarajah et al., 2019]. Значительный объем информации в отношении особенностей ДПН может быть получен при использовании электронейромиографии, конфокальной микроскопии роговицы и кожно-пункционной биопсии (Dermo Punch), использование которых в широкой практике также довольно ограничено [Boulton et al., 2018; Saini, 2021].

В течение последних лет в качестве весьма информативного и относительно доступного инструментального метода диагностики ДПН завоевывает признание ультразвуковое исследование (УЗИ) периферических нервов [Attah et al., 2019]. В ряде сообщений показано, что данные УЗИ малоберцового нерва позволяют выявлять ранние доклинические этапы становления ДПН, что обеспечивает возможность своевременно корректировать терапевтическую тактику и повышать эффективность лечения ДПН [Данилова и др., 2020]. В широкой отечественной клинической практике этот метод оценки больных с СД 2 типа пока распространения не получил. Существует целый ряд нерешенных аспектов проблемы УЗИ периферических нервов у обсуждаемой категории больных. Так, недостаточно данных о взаимосвязи ультразвуковых особенностей нервов с отдельными клиническими проявлениями ДПН: одни исследователи сообщают о преимущественной ассоциации нейропатической боли с гипоехогенностью нервных стволов, другие указывают на ее связь с увеличением площади поперечного сечения (ППС) нерва и обеднением его фасцикуляции [Шуст и др., 2016; Carroll, Simon, 2020]. Нет единства во взглядах на зависимость ультразвуковых изменений нервов от клинико-лабораторных характеристик СД 2 типа [Senarai et al., 2022].

Целью настоящей работы явилось изучение ультразвуковых особенностей малоберцовых нервов у лиц с продолжительным течением СД 2 типа и сопоставление их с симптоматикой ДПН и характеристиками диабета.

Объекты и методы исследования

Под проспективным наблюдением находились 67 больных (36 мужчин и 31 женщина, средний возраст $59,4 \pm 9,7$ года) с СД 2 типа при его продолжительности от момента выявления не менее 7 лет. Диагноз диабета, а также наличие его микро- и макрососудистых



осложнений и коморбидных состояний устанавливали на основании рекомендаций Российской Ассоциации Эндокринологов и рекомендаций иных соответствующих отечественных Ассоциаций [Дедов, Шестакова, 2017; Дедов и др., 2023]. У всех больных выполняли сбор жалоб, оценку анамнеза и полноценное объективное обследование, всем проводили стандартные общеклинические и биохимические исследования (анализатор АБхФк – 02 – «НПП-ТМ» (Би Ан), наборы производства Россия и Молдова). Содержание инсулина, высокочувствительного С-реактивного белка, (вч-СРБ), интерлейкина-6 (И-6) фактора некроза опухоли – альфа (TNF- α) и цистатина С в крови оценивали с помощью иммуноферментного анализа (наборы ИФА-Вектор-БЕСТ, Новосибирск, Россия). Особое внимание уделяли выявлению симптоматики ДПН, для чего у всех больных оценивали неврологический статус и определяли по общепринятым методикам состояние болевой, тактильной (10G Diabetic Monofilament Tester, Wenzhou Caretek Medical Device Co., Ltd., Китай) и вибрационной (камертон по Ридель-Сейферу, частота 64-128 Гц, KaWe, Германия) чувствительности [American Diabetes Association Professional Practice Committee, 2022]. Наличие нейропатической боли устанавливали на основании опросника DN4, выраженность боли оценивали по визуальной аналоговой шкале [Ахмеджанова и др., 2022; Лунева и др., 2022].

Ультразвуковое исследование малоберцового нерва выполняли на аппаратах SonoScape S30 и GE Healthcare LOGIC V2 с использованием линейных датчиков 10–12 мГц, с поддержанием на стабильных значениях глубины локации, ее фокуса и усиления (gain), при акустической мощности 100 %. Площадь поперечного сечения (ППС) нерва измеряли в стороне от участков, потенциально затрудняющих локацию, путем трехкратного трассирования его внутреннего края по гиперэхогенному ободку в трех точках (в проекции бифуркации – на выходе из седалищного нерва, в малоберцовом канале и перед разделением на глубокую и поверхностную ветви), полученные три значения усредняли [Малецкий и др., 2015; Vedewi et al., 2018]. Датчик располагали перпендикулярно поверхности, поиск нерва производился в движении. Нормальными значениями ППС малоберцового нерва считали уровни ≤ 11 мм², при величинах от 12 до 15 мм² констатировали незначительное увеличение этого показателя, при уровнях 15–20 мм² его считали умеренным, при > 20 мм² – выраженным [Narayan et al., 2021; Senarai et al., 2022]. При анализе структуры нерва особое внимание обращали на выявление таких особенностей, как гипоехогенность, гипоехогенный ободок и обеднение фасцикуляции нерва, опираясь для установления этих характеристик на рекомендации [Малецкий и др., 2015]. Оценивали одно- и двусторонний характер вовлечения малоберцового нерва. Дополнительно также определяли ультразвуковую структуру большеберцового нерва, принимая во внимание мнение [Senarai, 2022] об определенной ее значимости в установлении наличия ДПН, при этом нерв лоцировали в месте, отстоящем примерно на 5 см проксимальнее медиального мышечка [Малецкий и др., 2015; Möller et al., 2018]. Статистическую обработку данных выполняли в программе Microsoft Excel 2007. Для установления связей между особенностями клинической картины ДПН, а также клинико-лабораторных особенностей СД 2 типа с ультразвуковыми характеристиками малоберцового нерва использовали критерий χ^2 (хи-квадрат Пирсона). Различия считали статистически достоверными при значениях $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Характеристика наблюдавшихся больных представлена в таблице 1. Больные характеризовались наличием развернутой картины СД 2 типа и его осложнений, что типично для имевшихся у них значительной продолжительности диабета и частого неудовлетворительного контроля уровней гликемии.

Таблица 1

Table 1

Характеристика 67 лиц с СД 2 типа, абсолютное количество больных (%)
 Characteristics of 67 persons with type 2 diabetes, the absolute number of patients (%)

Характеристики больных	Количество	Характеристики больных	Количество
Мужчины	34 (50,7)	Диабетическая ретинопатия всего	32 (47,8)
Возраст > 60 лет	32 (47,8)	• непролиферативная	24 (35,9)
Давность СД > 10 лет	41 (61,2)	• пролиферативная	8 (11,9)
Индекс массы тела ≥ 30 кг/м ²	41 (61,2)	Диабетическая стопа всего	7 (10,4)
Курение ≥ 10 пачко-лет	22 (32,8)	• Wagner ≤ 2 степени	4 (6,0)
Злоупотребление алкоголем ¹	16 (23,9)	• Wagner > 2 степени	3 (4,4)
HbA1C > 8,0 %	35 (52,2)	Диабетическая нефропатия всего	26 (38,8)
ХС ЛПНП ² $\geq 4,0$ ммоль/л	23 (34,3)	• СКФ > 60 мл/мин/1,73 м ²	7 (10,4)
Триглицериды $\geq 2,2$ ммоль/л	19 (28,4)	• СКФ 30–60 мл/мин/1,73 м ²	9 (13,5)
Мочевая кислота ≥ 400 мкмоль/л	23 (34,3)	• СКФ < 30 мл/мин/1,73 м ²	10 (14,9)
Индекс НОМА-IR > 4	43 (64,2)	Индекс НОМА-В < 60	27 (40,3)
Артериальная гипертензия	52 (77,6)	Гипотиреоз	13 (19,4)
Перенесенный ИМ ³	22 (32,8)	Стеатоз печени ⁶	28 (41,8)
Фибрилляция предсердий	11 (16,4)	Клиника ДПН всего	33 (49,3)
ХСН ⁴ II-III ФК ⁵	16 (23,9)	• нейропатическая боль	19 (28,4)
Перенесенный инсульт	7 (10,4)	• аллодиния	6 (9,0)
Вч СРБ > 6,0 МЕ/л	28 (41,8)	• парестезии, онемение	15 (22,4)
Цистатин С > 1,4 мкг/мл	24 (35,8)	• интенсивность боли, ВАШ ≥ 5 баллов	16 (23,9)
TNF- α > 8,0 пг/мл	37 (55,2)	• \downarrow вибрационной чувствительности	27 (40,3)
IL-6 > 8,5 пг/мл	32 (47,8)	• \downarrow тактильной чувствительности	21 (31,3)
Применение инсулина	19 (28,3)	• \downarrow болевой чувствительности	18 (26,9)
Применение неинсулиновых сахароснижающих средств	54 (80,6)	• синдром «беспокойных ног»	18 (26,9)
		• \downarrow ахилловых рефлексов	26 (38,8)

Примечание: 1 – по данным о наблюдении у нарколога/психиатра, опроса родственников и информации от самого больного; 2 – холестерин липопротеидов низкой плотности; 3 – инфаркт миокарда; 4 – хроническая сердечная недостаточность; 5 – функциональный класс; 6 – по данным ультразвукового исследования; \downarrow – снижение.

У 1/3 из них был значительный стаж курения, примерно 1/4 злоупотребляла алкоголем. Часто были представлены гиперлипидемия, гиперурикемия и повышение уровней провоспалительных биомаркеров. Во многих случаях отмечалось наличие широкого спектра ассоциированных с СД 2 типа макро- и микрососудистых осложнений и коморбидных состояний. Клинические проявления ДПН имелись в 49,3 % наблюдений, при этом нейропатическая боль была представлена в 28,4 % случаев, аллодиния – в 9,0 %, парестезии и онемение – в 22,4 %, снижение вибрационной чувствительности – в 40,3 %, тактильной чувствительности – в 31,3 %, болевой чувствительности – в 26,9 %, синдром «беспокойных ног» – в 26,9 %, снижение ахилловых рефлексов отмечалось в 38,8 % случаев. Как и ожидалось, клинические проявления ДПН имели место у всех больных с синдромом диабетической стопы.

Результаты выполнения УЗИ малоберцового нерва у обследованных лиц показаны в таблице 2.



Таблица 2
Table 2

Результаты УЗИ малоберцового нерва у 67 больных с СД 2 типа, абсолютное количество больных (%)
The Results of Ultrasound of the Peroneal Nerve in 67 Patients with Type 2 Diabetes, the Absolute Number of patients (%)

Показатели	Количество
Всего больных	67 (100,0)
Лиц с изменениями при УЗИ малоберцовых нервов	62 (92,5)
Лиц с увеличением ППС малоберцовых нервов, всего	57 (85,1)
• в т. ч. небольшой степени (12–15 мм ²)	15 (22,4)
• в т. ч. умеренной степени (15–20 мм ²)	30 (44,8)
• в т. ч. выраженной степени (> 20 мм ²)	12 (17,9)
Лиц с изменениями структуры малоберцовых нервов, всего	28 (41,8)
• в т. ч. с нормальной эхогенностью, но с гипозоногенным ободком	12 (19,3)
• в т. ч. со сниженной эхогенностью	16 (23,9)
• в т. ч. с обеднением фасцикуляции нерва	28 (41,8)
Лиц с односторонним вовлечением малоберцового нерва	13 (19,4)
Лиц с двусторонним вовлечением малоберцового нерва	49 (73,1)
Лиц с сочетанием поражения малоберцового и большеберцового нервов	17 (27,5)

Изменения ультразвуковых характеристик малоберцового нерва имели место у подавляющего большинства больных с СД 2 типа (92,5 %), лишь в 5 из 67 случаев ППС нерва и его ультразвуковая архитектоника не отличались от нормы. Изменения малоберцового нерва были представлены увеличением его ППС различной степени выраженности в 85,1 % наблюдений, а также изменениями структуры (гипозоногенность, гипозоногенный ободок, обеднение фасцикуляции) в 45,1 % случаев. Ультразвуковые изменения малоберцового нерва чаще носили двусторонний характер, у 1/4 больных они сочетались с ультразвуковыми изменениями большеберцового нерва.

Выполнен анализ связи между наличием клинических проявлений ДПН (которые были представлены у 33 из 67 больных) и особенностями, выявленными при УЗИ малоберцового нерва (рис. 1).

Как видно из рисунка, среди лиц с клиническими проявлениями ДПН в сравнении с теми, у кого эти проявления отсутствовали, отчетливо более высокими оказались доли тех, у кого имелись умеренное увеличение ППС (63,6 против 26,4 %), выраженное ее увеличение (36,4 против 0 %), гипозоногенный ободок нерва (72,7 против 11,8 %), снижение эхогенности нерва (33,3 против 17,6 %), обеднение фасцикуляции (66,6 против 17,6 %), двусторонний характер поражения нерва (87,9 против 58,8 %), все $p < 0,05$. Обращает на себя внимание наличие увеличения ППС умеренной или выраженной степени у всех больных с клиническими проявлениями ДПН. При анализе с использованием критерия χ^2 Пирсона был выявлен ряд статистически значимых связей между отдельными клиническими проявлениями ДПН, с одной стороны, и ультразвуковыми характеристиками малоберцового нерва, с другой стороны. Так, были установлены связи нейропатической боли с умеренным/выраженным увеличением ППС нерва ($\chi^2 = 6,23$, $p < 0,05$) и наличием у него гипозоногенного ободка ($\chi^2 = 5,74$, $p < 0,05$); снижения вибрационной чувствительности – с наличием гипозоногенного ободка ($\chi^2 = 7,42$, $p < 0,01$) и обеднением фасцикуляции нерва ($\chi^2 = 5,83$, $p < 0,05$); снижения тактильной и/или болевой чувствительности – с ППС нерва ($\chi^2 = 7,50$, $p < 0,01$) и обеднением его фасцикуляции ($\chi^2 = 5,62$, $p < 0,05$); синдрома «беспокойных ног» – с умеренным / выраженным увеличением ППС ($\chi^2 = 6,91$, $p < 0,05$) и наличием гипозоногенного ободка нерва ($\chi^2 = 6,35$, $p < 0,05$).

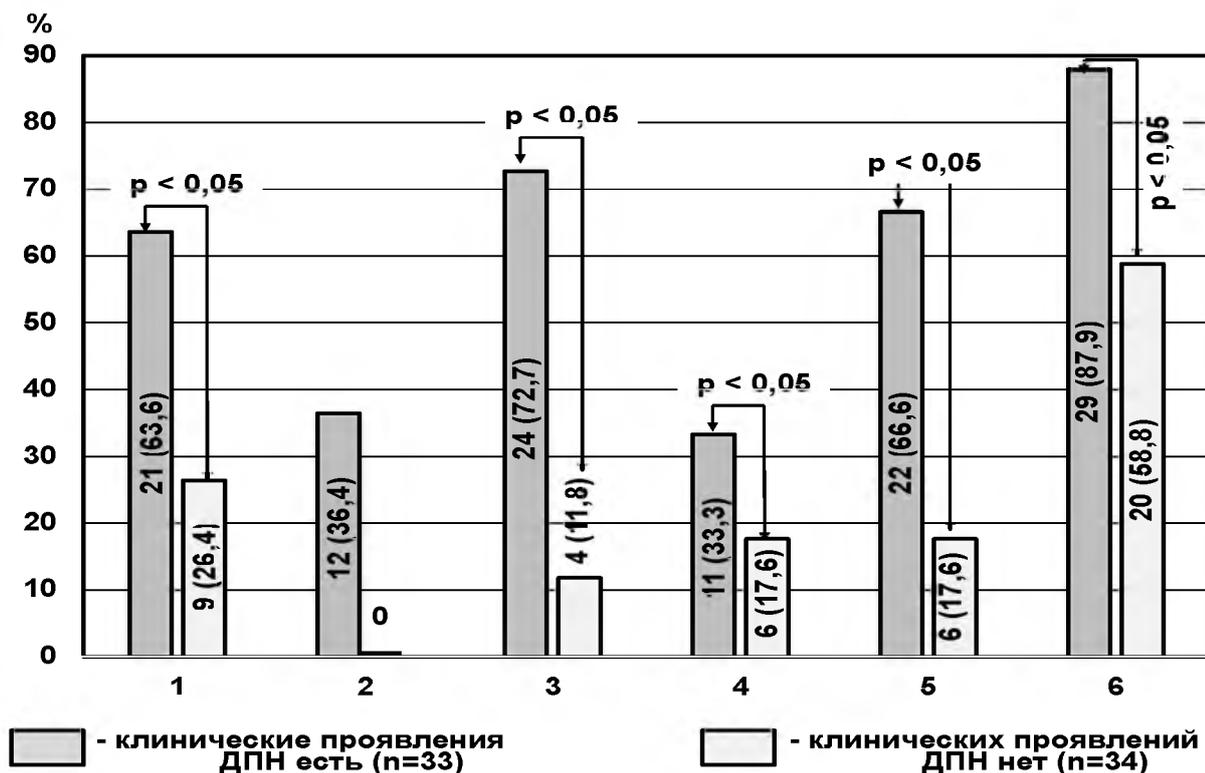


Рис. 1. Доли лиц с различными особенностями, выявляемыми при УЗИ малоберцового нерва, среди лиц с наличием и отсутствием клинических проявлений ДПН, абсолютное количество больных (%): 1 – умеренное увеличение ППС; 2 – выраженное увеличение ППС; 3 – гипоехогенный ободок; 4 – снижение эхогенности нерва; 5 – обеднение фасцикуляции; 6 – 2-стороннее вовлечение нерва

Fig. 1. The proportion of persons with various features detected by peroneal nerve ultrasound, among persons with the presence and absence of clinical manifestations of DPN, the absolute number of patients (%): 1 – moderate increase in AHD; 2 – pronounced increase in AHD; 3 – hypoechoic rim; 4 – decrease in nerve echogenicity; 5 – impoverishment of fasciculation; 6 – 2-sided involvement of the nerve

Представилось также важным оценить связь между ультразвуковыми особенностями малоберцового нерва и клинико-лабораторными характеристиками больных с СД 2 типа (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Значения критерия χ^2 и величины p для анализа связи между наличием отчетливых изменений ультразвуковой структуры малоберцового нерва и клинико-лабораторными особенностями больных с СД 2 типа

The values of the criterion χ^2 and the value of p for analyzing the relationship between the presence of distinct changes in the ultrasound structure of the peroneal nerve and the clinical and laboratory characteristics of patients with type 2 diabetes

Показатели	χ^2 ; p	Показатели	χ^2 ; p
Н _в A1C > 8 %	7,83; < 0,01	Артериальная гипертензия	6,28; < 0,05
Давность диабета > 10 лет	7,54; < 0,01	Гипотиреоз	2,76; > 0,05
Пол	4,06; > 0,05	Диабетическая ретинопатия	7,19; < 0,01
Возраст > 60 лет	5,86; < 0,05	СКФ \leq 60 мл/мин/1,73 м ²	6,97; < 0,05
Индекс массы тела	6,13; < 0,05	Триглицериды \geq 2,2 ммоль/л	7,25; < 0,01
НОМА-IR > 4	7,22; < 0,01	Злоупотребление алкоголем	3,81; > 0,05
Курение \geq 10 лет	6,34; < 0,05	Мочевая кислота \geq 400 мкмоль/л	5,78; < 0,05
Неалкогольная жировая болезнь печени	3,24; > 0,05	Повышение уровней провоспалительных биомаркеров	7,34; < 0,01



Для этого среди 67 больных были отобраны лица, имевшие более значительные по выраженности ультразвуковые изменения структуры малоберцового нерва, а именно – сочетание (1) увеличения его ППС умеренной или выраженной степени, (2) снижения его эхогенности и (3) обеднения фасцикуляции нерва. Лиц, имевших все эти характеристики, оказалось 28 (41,8 %). Установлено наличие целого ряда статистически значимых связей между присутствием этих отчетливых изменений ультразвуковой структуры малоберцового нерва и клинико-лабораторными особенностями больных, значения критерия χ^2 и величины p представлены в таблице 3.

Несмотря на длительное изучение, ДПН остается одной из сложных мультидисциплинарных проблем, охватывающей различные области медицины. Термином ДПН принято обозначать нейродегенеративное заболевание нервной системы с преимущественным вовлечением сенсорных нервных волокон (а также вегетативных и, в меньшей степени, моторных нервных волокон) [Котов и др., 2017]. ДПН рассматривается как наиболее частое осложнение обоих типов СД, она существенно влияет на качество жизни больных и отдаленный прогноз [Комилов и др., 2023]. В зависимости от используемых методов диагностики распространенность ДПН среди лиц с СД 2 типа составляет 22–50 % [Антонова, Танашян, 2022]. Обращает на себя внимание также высокая частота выявления ДПН в популяции лиц с предиабетом – от 2 до 77 % случаев (последняя цифра – при применении таких высокочувствительных диагностических методов, как количественное сенсорное тестирование и подошвенная термометрия) [Nellaiappan et al., 2022]. Доля лиц с отчетливыми клиническими проявлениями ДПН среди лиц с СД 2 типа может составлять, по данным различных авторов, от 20 до 40 % [Ziegler et al., 2022]. В настоящем исследовании симптоматика ДПН имела место у 49,3 % больных, что в целом соответствует приведенным выше литературным данным. Отметим, что она даже несколько выше тех величин, которые приводятся в клинических исследованиях; возможно, это обусловлено особенностями наблюдавшейся группы больных, все они имели продолжительность диабета ≥ 7 лет, у многих был неудовлетворительный контроль гликемии, часто присутствовали различные варианты диабетической коморбидности. Частота обнаружения изменений при УЗИ малоберцового нерва в данной работе оказалась очень значительной, те или иные изменения были отмечены в 92,5 % наблюдений, лишь у 5 из 67 больных нарушений структуры нерва отмечено не было. Столь высокая доля лиц с такого рода нарушениями подтверждает позицию ДПН как наиболее частого варианта осложнений диабета и подчеркивает универсальный характер воздействия неблагоприятного диабетического микроокружения на нервные волокна. С учетом того, что у обследованных в работе лиц без клинической картины ДПН ультразвуковые изменения малоберцового нерва оказались отчетливо менее выраженными, можно предположить, что выявление их на субклиническом этапе развития ДПН может быть использовано для ранней ее диагностики и своевременной коррекции лечебной тактики.

Считается, что мишенью диабета является все нервное волокно, от нейрона спинномозгового ганглия до периферических рецепторов [Gylfadottir et al., 2023]. Развитие при СД дегенерации и демиелинизации нервных волокон связывают с целым рядом ассоциированных с диабетом факторов, включая метаболические нарушения (гипергликемия, инсулинорезистентность, накопление конечных продуктов гликирования, активация полиолового пути обмена глюкозы, дефицит миоинозитола, дислипидемия), окислительный стресс и провоспалительные механизмы, нарушение образования фактора роста нерва, снижение образования оксида азота и уменьшение вазодилатации, эндоневральную гипоксию [Ye et al., 2022; Galiero et al., 2023]. Ключевым фактором возникновения и прогрессирования ДПН признается гипергликемия – полагают, что именно от нее зависит степень выраженности перечисленных выше патофизиологических процессов, определяющих повреждение нервных волокон при диабете [Nathan et al., 2022]. Полученные в настоящей работе данные о связи выраженных ультразвуковых особенностей малоберцового нерва с такими факторами, как HbA1C, инсулинорезистентность, возраст, индекс массы тела, давность диабета,

гипертриглицеридемия, гиперурикемия, азотемия и повышение уровней провоспалительных биомаркеров демонстрируют определяющую роль целого комплекса метаболических и ассоциированных с ними факторов в формировании ДПН у лиц с СД 2 типа [Nathan et al., 2022; Ma et al., 2021]. Заслуживает определенного внимания установленная зависимость ультразвуковой структуры нерва от курения и гиперурикемии, о чем свидетельств в литературных источниках нами не было найдено (однако объяснить эту связь можно известными мощными и практически повсеместными негативными воздействиями этих факторов на различные органы и системы организма). О связях ДПН с артериальной гипертонией и диабетической ретинопатией также сообщают и другие исследователи [Kim et al., 2023].

Спектр отмеченных в настоящем исследовании проявлений ДПН соответствует литературным источникам. Эта симптоматика отражает наличие у обследованных лиц дистальной симметричной полинейропатии, составляющей до 75 % случаев диабетических нейропатий [American Diabetes Association Professional Practice Committee, 2022]. ДПН (с нарушением болевой и тактильной чувствительности, а также вегетативными нарушениями) признается важнейшим патофизиологическим фактором развития синдрома диабетической стопы; значимая связь между этими состояниями отмечена и в данной работе [Pieruzzi, 2020; Saraiva et al., 2023].

Вопросы диагностики являются одними из наиболее сложных при обсуждении проблемы ДПН. Стандартные достаточно дешевые и доступные скрининговые методы ее выявления (опросники, анкеты, исследования болевой, тактильной и вибрационной чувствительности) характеризуются относительно невысокой чувствительностью, ввиду чего были предложены и внедрены разнообразные высокотехнологичные диагностические подходы, которые требуют использования достаточно серьезного и дорогого оборудования, что снижает их доступность. В качестве приемлемой альтернативы обсуждаются возможности ультразвуковой визуализации периферических нервов (в особенности малоберцового) для диагностики ДПН [Yavuz et al., 2023]. Ряд исследователей представляют информацию об удовлетворительной информативности этого метода исследования, пригодности его для скринингового исследования и для ранней диагностики ДПН [Bedewi et al., 2018; Attah et al., 2019]. В литературных источниках пока нет единой точки зрения на связь ультразвуковых особенностей периферических нервов с отдельными клиническими характеристиками ДПН, данные на этот счет неоднозначны [Ma et al., 2021; Toth et al., 2023]. Полученные в настоящей работе данные о наличии отчетливых связей между данными, полученными при стандартизированной УЗИ малоберцового нерва, с одной стороны, и симптоматикой ДПН, а также клинико-лабораторными особенностями диабета, с другой стороны, могут быть интерпретированы как положительное свидетельство возможностей этого диагностического метода при ДПН. Представляется, что УЗИ малоберцового нерва как достаточно доступный в широкой практике и относительно недорогой метод исследования при включении в комплекс исследований лиц с СД 2 типа позволит улучшить раннюю диагностику доклинических этапов ДПН, будет способствовать улучшению прогнозирования ее течения и, вследствие этого, повышать качество профилактических и лечебных мероприятий.

Выводы

1. Среди больных с давностью СД 2 типа ≥ 7 лет частым неудовлетворительным контролем гликемии и широким спектром ассоциированной с диабетом коморбидности клинические проявления ДПН имели место в 49,3 % наблюдений, при этом изменения ультразвуковых характеристик малоберцовых нервов отмечены в 92,5 % случаев.
2. Доли лиц с увеличением ППС малоберцовых нервов умеренной и высокой степени выраженности со снижением эхогенности нервов, обеднением их фасцикуляции и двусторонним характером поражений нервов оказались отчетливо выше при наличии симптоматики ДПН в сравнении с ее отсутствием.
3. Отмеченные статистически значимые связи между особенностями нарушений, выявляемых при УЗИ малоберцового нерва, с одной стороны, и клиническими проявлениями



ДПН и характеристиками СД 2 типа, с другой стороны, позволяют говорить о возможности более широкого использования этого метода для ранней диагностики ДПН, прогнозирования ее течения и, возможно, для улучшения принципов выбора лечебной тактики.

Список литературы

- Антонова К.В., Танашян М.М. 2022. Диабетическая нейропатия как мультисистемный процесс. *Эффективная фармакотерапия*. 18(30): 28–37. doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-30-28-37.
- Ахмеджанова Л.Т., Мандра Е.В., Янакаева Т.А., Солоха О.А. 2022. Болевая диабетическая полиневропатия: современные подходы к диагностике и лечению. *Медицинский совет*. 16(23): 86–92. doi: 10.21518/ms2023-243.
- Данилова М.Г., Салтыкова В.Г., Усенко Е.Е., Абоян И.А., Моргунов М.Н., Рамонова Д.Р. 2020. Роль ультразвукового исследования в диагностике диабетической дистальной полинейропатии у детей и взрослых, страдающих сахарным диабетом 1-го типа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 4: 78–97. doi: 10.24835/1607-0771-2020-4-78-97.
- Дедов И.И., Шестакова М.В. 2017. Осложнения сахарного диабета: лечение и профилактика. М. ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство». 744 с.
- Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К., Исаков М.А., Железнякова А.В. 2019. Атлас регистра сахарного диабета Российской Федерации. Статус 2018. *Сахарный диабет*. 22(2): 4–61. doi: 10.14341/DM12208.
- Дедов И.И., Шестакова М.В., Майорова А.Ю. 2023. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. 11-й выпуск. М. 231 с. doi: 10.14341/DM13042.
- Игнатенко Г.А., Багрий А.Э., Оприщенко А.А. 2022. Сахарный диабет. Руководство для врачей. Донецк. 640 с.
- Комилов С.О., Ушаков С.Н. 2023. Сравнительная оценка осложнений сахарного диабета – нейропатии и ангиопатии. *Биология и интегративная медицина*. 1(60): 72–80.
- Котов С.В., Рудакова И.Г., Исакова Е.В., Волченкова Т.В. 2017. Диабетическая нейропатия: разнообразие клинических форм (лекция). *Российский медицинский журнал*. 25(11): 822–830.
- Лулева И.Е., Гришина Д.А., Супонева Н.А. 2022. Современные подходы к терапии диабетической полинейропатии. *Эффективная фармакотерапия*. 18(10): 28–36. doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-10-28-36.
- Малецкий Э.Ю., Короткевич М.М., Бутова А.В., Александров Н.Ю., Ицкович И.Э. 2015. Измерение периферических нервов: сопоставление ультразвуковых, магнитно-резонансных и интраоперационных данных. *Медицинская визуализация*. 2: 78–86.
- Храмылин В.Н., Завьялов А.Н., Демидова И.Ю. 2020. Диагностика и лечение ранних стадий диабетической полинейропатии. *Медицинский совет*. 7: 56–65. doi: 10.21518/2079-701X-2020-7-56-65.
- Шуст Ю.А., Лебедева Е.В., Жестовская С.И. 2016. Комплексное ультразвуковое исследование сосудов и периферических нервов у пациентов с синдромом диабетической стопы. *Медицинская визуализация*. 2: 108–112.
- American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2022. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes. *Diabetes Care*. 45(1): 17–38. doi: 10.2337/dc22-S002.
- Attah F.A., Asaley C.M., Omisore A.D., Kolawole B.A., Aderibigbe A.S., Alo M. 2019. Relationship Between Sonographically Measured Median Nerve Cross-Sectional Area and Presence of Peripheral Neuropathy in Diabetic Subjects. *World J. Diabetes*. 10(1): 47–56. doi: 10.4239/wjd.v10.i1.47.
- Bedewi M.A., Abodonya A., Kotb M., Kamal S., Mahmoud G., Aldossari K., Alqabbani A., Swify S. 2018. Estimation of Ultrasound Reference Values for the Lower Limb Peripheral Nerves in Adults: A Cross-Sectional Study. *Medicine (Baltimore)*. 97(12): e0179. doi: 10.1097/MD.00000000000010179.
- Boulton A.J.M., Armstrong D.G., Kirsner R.S., Attinger C.E., Lavery L.A., Lipsky B.A., Mills J.L.Sr., Steinberg J.S. 2018. Diagnosis and Management of Diabetic Foot Complications. Arlington (VA): American Diabetes Association. 1–24. doi: 10.2337/db20182-1.
- Carmichael J., Fadavi H., Ishibashi F., Shore A.C., Tavakoli M. 2021. Advances in Screening, Early Diagnosis and Accurate Staging of Diabetic Neuropathy. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 26(12): 671257. doi: 10.3389/fendo.2021.671257.



- Carroll A.S., Simon N.G. 2020. Current and Future Applications of Ultrasound Imaging in Peripheral Nerve Disorders. *World J. Radiol.* 12(6): 101–129. doi: 10.4329/wjr.v12.i6.101.
- Galiero R., Caturano A., Vetrano E., Beccia D., Brin C., Alfano M., Di Salvo J., Epifani R., Piacevole A., Tagliaferri G., Rocco M., Iadicicco I., Docimo G., Rinaldi L., Sardu C., Salvatore T., Marfella R., Sasso F.C. 2023. Peripheral Neuropathy in Diabetes Mellitus: Pathogenetic Mechanisms and Diagnostic Options. *Int. J. Mol. Sci.* 24(4): 3554. doi: 10.3390/ijms24043554.
- Grimm A., Winter N., Rattay T.W., Härtig F., Dammeier N.M., Auffenberg E., Koch M., Axer H. 2017. A Look Inside the Nerve – Morphology of Nerve Fascicles in Healthy Controls and Patients with Polyneuropathy. *Clin Neurophysiol.* 128(12): 2521–2526. doi: 10.1016/j.clinph.2017.08.022.
- Gylfadottir S.S., Itani M., Kristensen A.G., Nyengaard J.R., Sindrup S.H., Jensen T.S., Finnerup N.B., Karlsson P. 2023. Corneal Confocal Microscopy and Other Small Fiber Measures in Diabetic Polyneuropathy. *Neurology.* 100(16): 1680–1690. doi: 10.1212/WNL.000000000206902.
- Kim K., Lee S.N., Ahn Y.B., Ko S.H., Yun J.S. 2023. Associations of Polyneuropathy with Risk of All-Cause and Cardiovascular Mortality, Cardiovascular Disease Events Stratified by Diabetes Status. *Journal of Diabetes Investigation.* 14: 1279–1288. doi: 10.1111/jdi.14063.
- Ma X., Li T., Du L., Liu G., Sun T., Han T. 2021. Applicability of High-Frequency Ultrasound to the Early Diagnosis of Diabetic Peripheral Neuropathy. *Biomed. Res. Int.* 18: 5529063. doi: 10.1155/2021/5529063.
- Moller I., Miguel M., Bong D.A., Zaottini F., Martinoli C. 2018. The Peripheral Nerves: Update on Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging. *Clin. Exp. Rheumatol.* 114(5): 145–158.
- Narayan S., Goel A., Singh A.K., Thacker A.K., Singh N., Gutch M. 2021. High Resolution Ultrasonography of Peripheral Nerves in Diabetic Patients to Evaluate Nerve Cross Sectional Area with Clinical Profile. *Br. J. Radiol.* 94(1121): 20200173. doi: 10.1259/bjr.20200173.
- Nathan D.M., Lachin J.M., Bebu I., Burch H.B., Buse J.B., Cherrington A.L., Fortmann S.P., Green J.B., Kahn S.E., Kirkman M.S., Krause-Steinrauf H., Larkin M.E., Phillips L.S., Pop-Busui R., Steffes M., Tiktin M., Tripputi M., Wexler D.J., Younes N. 2022. Glycemia Reduction in Type 2 Diabetes – Microvascular and Cardiovascular Outcomes. *N Engl. J. Med.* 387(12): 1075–1088. doi: 10.1056/NEJMoa2200436.
- Nellaiappan K., Preeti K., Khatri D.K., Singh S.B. 2022. Diabetic Complications: An Update on Pathobiology and Therapeutic Strategies. *Curr. Diabetes Rev.* 18(1): e030821192146. doi: 10.2174/1573399817666210309104203.
- Pieruzzi L., Napoli V., Goretti C., Adami D., Iacopi E., Cicorelli A., Piaggese A. 2020. Ultrasound in the Modern Management of the Diabetic Foot Syndrome: A Multipurpose Versatile Toolkit. *Int. J. Low. Extrem. Wounds.* 19(4): 315–333. doi: 10.1177/1534734620948351.
- Saini D.C., Kochar A., Poonia R. 2021. Clinical Correlation of Diabetic Retinopathy with Nephropathy and Neuropathy. *Indian J. Ophthalmol.* 69: 3364–3368. doi: 10.4103/ijo.IJO_1237_21.
- Saraiva B.P.L.G., Ribeiro J.D., Casa B.A., Osugi R.H., Nakagome G.S., Neto O.V.C. 2023. Early Diagnosis of Diabetic Neuropathy and Prophylaxis of Diabetic Foot. *Journal of Human Growth and Development (Impresso).* 33(2): 206–212. doi: <https://doi.org/10.36311/jhgd.v33.14252>.
- Selvarajah D., Kar D., Khunti K., Davies M.J., Scott A.R., Walker J., Tesfaye S. 2019. Diabetic Peripheral Neuropathy: Advances in Diagnosis and Strategies for Screening and Early Intervention. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 7(12): 938–948. doi: 10.1016/S2213-8587(19)30081-6.
- Senarai T., Pratipanawatr T., Yurasakpong L., Kruepunga N., Limwachiranon J., Phanthong P., Meemon K., Yammine K., Suwannakhan A. 2022. Cross-Sectional Area of the Tibial Nerve in Diabetic Peripheral Neuropathy Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Ultrasonography Studies. *Medicina (Kaunas).* 58(12): 1696. doi: 10.3390/medicina58121696.
- Sun H., Saeedi P., Karuranga S., Pinkepank M., Ogurtsova K., Duncan B.B., Stein C., Basit A., Chan J.C.N., Mbanya J.C., Pavkov M.E., Ramachandran A., Wild S.H., James S., Herman W.H., Zhang P., Bommer C., Kuo S., Boyko E.J., Magliano D.J. 2022. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice.* 183: 109–119. doi: 10.1016/j.diabres.2021.109119.
- Toth M., Szoke A., Aranyi Z. 2023. Nerve Ultrasonographic Findings in Diabetes Mellitus are Determined by Anatomical Location and Type of Diabetes. *Clinical Neurophysiology Practice.* 8: 115–122. doi: 10.1016/j.cnp.2023.04.004.



- Yavuz K., Yurdakul F.G., Guler T., Bodur H. 2023. Predictive Value of Ultrasonography in Polyneuropathy Diagnosis: Electrophysiological and Ultrasonographic Analysis. *Rheumatology International*. 43: 1733–1742. doi: 10.1007/s00296-023-05356-9.
- Ye D., Fairchild T.J., Vo L., Drummond P.D. 2022. Painful Diabetic Peripheral Neuropathy: Role of Oxidative Stress and Central Sensitisation. *Diabet Med*. 39(1): e14729. doi: 10.1111/dme.14729.
- Ziegler D., Tesfaye S., Spallone V., Gurieva I., Al Kaabi J., Mankovsky B., Martinka E., Radulian G., Nguyen K.T., Stirban A.O., Tankova T., Varkonyi T., Freeman R., Kempler P., Boulton A.J. 2022. Screening, Diagnosis and Management of Diabetic Sensorimotor Polyneuropathy in Clinical Practice: International Expert Consensus Recommendations. *Diabetes Res. Clin. Pract.* 186: 109063. doi: 10.1016/j.diabres.2021.109063.

References

- Antonova K.V., Tanashyan M.M. 2022. Diabeticheskaya neiropatiya kak mul'tisistemnyi protsess [Diabetic Neuropathy as a Multisystem Process]. *Effektivnaya farmakoterapiya [Effective Pharmacotherapy]*. 18(30): 28–37. doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-30-28-37.
- Akhmedzhanova L.T., Mandra E.V., Yanakaeva T.A., Solokha O.A. 2022. Bolevaya diabeticheskaya polinevropatiya: sovremennye podkhody k diagnostike i lecheniyu [Painful Diabetic Polyneuropathy: Modern Approaches to Diagnosis and Treatment]. *Meditinskii Sovet [Medical Council]*. 16(23): 86–92. doi: 10.21518/ms2023-243.
- Danilova M.G., Saltykova V.G., Usenko E.E., Aboyan I.A., Morgunov M.N., Ramonova D.R. 2020. Rol' ul'trazvukovogo issledovaniya v diagnostike diabeticheskoi distal'noi polineiropatii u detei i vzroslykh, stradayushchikh sakharnym diabetom 1-go tipa [Nerve Ultrasound in Diabetic Distal Polyneuropathy Diagnosis in Adult and Children with Type 1 Diabetes Mellitus]. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika [Ultrasound and Functional Diagnostics]*. 4: 78–97 doi: 10.24835/1607-0771-2020-4-78-97.
- Dedov I.I., Shestakova M.V. 2017. Oslozhneniya sakharnogo diabeta: lechenie i profilaktika [Complications of Diabetes Mellitus: Treatment and Prevention]. Moscow, Publ. OOO «Izdatel'stvo «Meditsinskoe informacionnoe agentstvo», 744 p.
- Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K., Isakov M.A., Zheleznyakova A.V. 2019. Atlas registra sakharnogo diabeta Rossiiskoi Federatsii. Status 2018 [Atlas of Diabetes Register in Russian Federation, Status 2018]. *Sakharnyi diabet [Diabetes mellitus]*. 22(2): 4–61. doi: 10.14341/DM12208.
- Dedov I.I., Shestakova M.V., Maiorov A.Yu. 2023. Algoritmy spetsializirovannoi meditsinskoi pomoshchi bol'nym sakharnym diabetom. 11-i vypusk [Standards of Specialized Diabetes Care. 11th Edition]. Moscow, 231 p. doi: 10.14341/DM13042
- Ignatenko G.A., Bagrii A.E., Oprishchenko A.A. 2022. Sakharnyi diabet. Rukovodstvo dlya vrachei [Diabetes Mellitus. Guide for Doctors]. Donetsk, 640 p.
- Komilov S.O., Ushakov S.N. 2023. Sravnitel'naya otsenka oslozhnenii sakharnogo diabeta – neiropatii i angiopatii [Comparative Assessment of Complications of Diabetes Mellitus – Neuropathy and Angiopathy]. *Biologiya i integrativnaya meditsina [Biologiya i integrativnaya medicina]*. 1(60): 72–80.
- Kotov S.V., Rudakova I.G., Isakova E.V., Volchenkova T.V. 2017. Diabeticheskaya neiropatiya: raznoobrazie klinicheskikh form (lektiya) [Diabetic Neuropathy: A Variety of Clinical Forms (Lecture)]. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal [Russian Medical Journal]*. 25(11): 822–830.
- Luneva I.Ye., Grishina D.A., Suponeva N.A. 2022. Sovremennye podkhody k terapii diabeticheskoi polineiropatii [Modern Management of Diabetic Polyneuropathy]. *Effektivnaya farmakoterapiya [Effective Pharmacotherapy]*. 18(10): 28–36. doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-10-28-36.
- Maletskiy E.Yu., Korotkevich M.M., Butova A.V., Aleksandrov N.Yu., Itskovich I.E. 2015. Izmerenie perifericheskikh nervov: sopostavlenie ul'trazvukovykh, magnitno-rezonansnykh i intraoperatsionnykh dannykh [Measurements of Peripheral Nerves: Comparison of Ultrasound, MRI and Direct Intraoperative Data]. *Meditinskaya vizualizatsiya [Medical Visualization]*. 2: 78–86.
- Khramilin V.N., Zav'yalov A.N., Demidova I.Yu. 2020. Diagnostika i lechenie rannikh stadii diabeticheskoi polineiropatii [Diagnosis and Treatment of the Early Stages of Diabetic Polyneuropathy]. *Meditinskii sovet [Medical council]*. 7:56–65. doi: 10.21518/2079-701X-2020-7-56-65.
- Shust Yu.A., Lebedeva E.V., Zhestovskaya S.I. 2016. Kompleksnoe ul'trazvukovoe issledovanie sosudov i perifericheskikh nervov u patsientov s sindromom diabeticheskoi stopy [A Comprehensive

- Ultrasound Examination of Vessels and Peripheral Nerves in Patients with Diabetic Foot Syndrome]. *Meditsinskaya vizualizatsiya [Medical Visualization]*. 2: 108–112.
- American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2022. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes. *Diabetes Care*. 45(1): 17–38. doi: 10.2337/dc22-S002.
- Attah F.A., Asaley C.M., Omisore A.D., Kolawole B.A., Aderibigbe A.S., Alo M. 2019. Relationship Between Sonographically Measured Median Nerve Cross-Sectional Area and Presence of Peripheral Neuropathy in Diabetic Subjects. *World J. Diabetes*. 10(1): 47–56. doi: 10.4239/wjd.v10.i1.47.
- Bedewi M.A., Abodonya A., Kotb M., Kamal S., Mahmoud G., Aldossari K., Alqabbani A., Swify S. 2018. Estimation of Ultrasound Reference Values for the Lower Limb Peripheral Nerves in Adults: A Cross-Sectional Study. *Medicine (Baltimore)*. 97(12): e0179. doi: 10.1097/MD.00000000000010179.
- Boulton A.J.M., Armstrong D.G., Kirsner R.S., Attinger C.E., Lavery L.A., Lipsky B.A., Mills J.L.Sr., Steinberg J.S. 2018. Diagnosis and Management of Diabetic Foot Complications. Arlington (VA): American Diabetes Association. 1–24. doi: 10.2337/db20182-1.
- Carmichael J., Fadavi H., Ishibashi F., Shore A.C., Tavakoli M. 2021. Advances in Screening, Early Diagnosis and Accurate Staging of Diabetic Neuropathy. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 26(12): 671257. doi: 10.3389/fendo.2021.671257.
- Carroll A.S., Simon N.G. 2020. Current and Future Applications of Ultrasound Imaging in Peripheral Nerve Disorders. *World J. Radiol*. 12(6): 101–129. doi: 10.4329/wjr.v12.i6.101.
- Galiero R., Caturano A., Vetrano E., Beccia D., Brin C., Alfano M., Di Salvo J., Epifani R., Piacevole A., Tagliaferri G., Rocco M., Iadicicco I., Docimo G., Rinaldi L., Sardu C., Salvatore T., Marfella R., Sasso F.C. 2023. Peripheral Neuropathy in Diabetes Mellitus: Pathogenetic Mechanisms and Diagnostic Options. *Int. J. Mol. Sci*. 24(4): 3554. doi: 10.3390/ijms24043554.
- Grimm A., Winter N., Rattay T.W., Härtig F., Dammeier N.M., Auffenberg E., Koch M., Axer H. 2017. A Look Inside the Nerve – Morphology of Nerve Fascicles in Healthy Controls and Patients with Polyneuropathy. *Clin Neurophysiol*. 128(12): 2521–2526. doi: 10.1016/j.clinph.2017.08.022.
- Gylfadottir S.S., Itani M., Kristensen A.G., Nyengaard J.R., Sindrup S.H., Jensen T.S., Finnerup N.B., Karlsson P. 2023. Corneal Confocal Microscopy and Other Small Fiber Measures in Diabetic Polyneuropathy. *Neurology*. 100(16): 1680–1690. doi: 10.1212/WNL.00000000000206902.
- Kim K., Lee S.N., Ahn Y.B., Ko S.H., Yun J.S. 2023. Associations of Polyneuropathy with Risk of All-Cause and Cardiovascular Mortality, Cardiovascular Disease Events Stratified by Diabetes Status. *Journal of Diabetes Investigation*. 14: 1279–1288. doi: 10.1111/jdi.14063.
- Ma X., Li T., Du L., Liu G., Sun T., Han T. 2021. Applicability of High-Frequency Ultrasound to the Early Diagnosis of Diabetic Peripheral Neuropathy. *Biomed. Res. Int*. 18: 5529063. doi: 10.1155/2021/5529063.
- Moller I., Miguel M., Bong D.A., Zaottini F., Martinoli C. 2018. The Peripheral Nerves: Update on Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging. *Clin. Exp. Rheumatol*. 114(5): 145–158.
- Narayan S., Goel A., Singh A.K., Thacker A.K., Singh N., Gutch M. 2021. High Resolution Ultrasonography of Peripheral Nerves in Diabetic Patients to Evaluate Nerve Cross Sectional Area with Clinical Profile. *Br. J. Radiol*. 94(1121): 20200173. doi: 10.1259/bjr.20200173.
- Nathan D.M., Lachin J.M., Bebu I., Burch H.B., Buse J.B., Cherrington A.L., Fortmann S.P., Green J.B., Kahn S.E., Kirkman M.S., Krause-Steinrauf H., Larkin M.E., Phillips L.S., Pop-Busui R., Steffes M., Tiktin M., Tripputi M., Wexler D.J., Younes N. 2022. Glycemia Reduction in Type 2 Diabetes – Microvascular and Cardiovascular Outcomes. *N Engl. J. Med*. 387(12): 1075–1088. doi: 10.1056/NEJMoa2200436.
- Nellaiappan K., Preeti K., Khatri D.K., Singh S.B. 2022. Diabetic Complications: An Update on Pathobiology and Therapeutic Strategies. *Curr. Diabetes Rev*. 18(1): e030821192146. doi: 10.2174/1573399817666210309104203.
- Pieruzzi L., Napoli V., Goretti C., Adami D., Iacopi E., Cicorelli A., Piaggese A. 2020. Ultrasound in the Modern Management of the Diabetic Foot Syndrome: A Multipurpose Versatile Toolkit. *Int. J. Low. Extrem. Wounds*. 19(4): 315–333. doi: 10.1177/1534734620948351.
- Saini D.C., Kochar A., Poonia R. 2021. Clinical Correlation of Diabetic Retinopathy with Nephropathy and Neuropathy. *Indian J. Ophthalmol*. 69: 3364–3368. doi: 10.4103/ijo.IJO_1237_21.
- Saraiva B.P.L.G., Ribeiro J.D., Casa B.A., Osugi R.H., Nakagome G.S., Neto O.V.C. 2023. Early Diagnosis of Diabetic Neuropathy and Prophylaxis of Diabetic Foot. *Journal of Human Growth and Development (Impresso)*. 33(2): 206–212. doi: <https://doi.org/10.36311/jhgd.v33.14252>.



- Selvarajah D., Kar D., Khunti K., Davies M.J., Scott A.R., Walker J., Tesfaye S. 2019. Diabetic Peripheral Neuropathy: Advances in Diagnosis and Strategies for Screening and Early Intervention. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 7(12): 938–948. doi: 10.1016/S2213-8587(19)30081-6.
- Senarai T., Pratipanawatr T., Yurasakpong L., Kruepunga N., Limwachiranon J., Phanthong P., Meemon K., Yammine K., Suwannakhan A. 2022. Cross-Sectional Area of the Tibial Nerve in Diabetic Peripheral Neuropathy Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Ultrasonography Studies. *Medicina (Kaunas).* 58(12): 1696. doi: 10.3390/medicina58121696.
- Sun H., Saeedi P., Karuranga S., Pinkepank M., Ogurtsova K., Duncan B.B., Stein C., Basit A., Chan J.C.N., Mbanya J.C., Pavkov M.E., Ramachandaran A., Wild S.H., James S., Herman W.H., Zhang P., Bommer C., Kuo S., Boyko E.J., Magliano D.J. 2022. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice.* 183: 109–119. doi: 10.1016/j.diabres.2021.109119.
- Toth M., Szoke A., Aranyi Z. 2023. Nerve Ultrasonographic Findings in Diabetes Mellitus are Determined by Anatomical Location and Type of Diabetes. *Clinical Neurophysiology Practice.* 8: 115–122. doi: 10.1016/j.cnp.2023.04.004.
- Yavuz K., Yurdakul F.G., Guler T., Bodur H. 2023. Predictive Value of Ultrasonography in Polyneuropathy Diagnosis: Electrophysiological and Ultrasonographic Analysis. *Rheumatology International.* 43: 1733–1742. doi: 10.1007/s00296-023-05356-9.
- Ye D., Fairchild T.J., Vo L., Drummond P.D. 2022. Painful Diabetic Peripheral Neuropathy: Role of Oxidative Stress and Central Sensitisation. *Diabet Med.* 39(1): e14729. doi: 10.1111/dme.14729.
- Ziegler D., Tesfaye S., Spallone V., Gurieva I., Al Kaabi J., Mankovsky B., Martinka E., Radulian G., Nguyen K.T., Stirban A.O., Tankova T., Varkonyi T., Freeman R., Kempler P., Boulton A.J. 2022. Screening, Diagnosis and Management of Diabetic Sensorimotor Polyneuropathy in Clinical Practice: International Expert Consensus Recommendations. *Diabetes Res. Clin. Pract.* 186: 109063. doi: 10.1016/j.diabres.2021.109063.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 15.01.2024

Поступила после рецензирования 12.02.2024

Принята к публикации 17.04.2024

Received January 15, 2024

Revised February 12, 2024

Accepted April 17, 2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Стефаненко Артем Вадимович, аспирант кафедры внутренних болезней № 2, Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Донецк, Россия

 [ORCID: 0009-0009-3597-1812](https://orcid.org/0009-0009-3597-1812)

Багрий Андрей Эдуардович, доктор медицинских наук, профессор, проректор по последипломному образованию, заведующий кафедрой внутренних болезней № 2, Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Донецк, Россия

 [ORCID: 0000-0003-2592-0906](https://orcid.org/0000-0003-2592-0906)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Artem V. Stefanenko, Graduate Student of the Department of Internal Diseases 2, M. Gorky Donetsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Donetsk, Russia

Andrey E. Bagriy, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Provost of Postgraduate Education, Chief of the Department of Internal Diseases 2, M. Gorky Donetsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Donetsk, Russia



Орехова Анастасия Олеговна, врач невролог неврологического отделения, Дорожная клиническая больница станции Донецк, г. Донецк, Россия

 [ORCID: 0009-0005-0415-9742](https://orcid.org/0009-0005-0415-9742)

Михайличенко Евгения Сергеевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры внутренних болезней № 2, Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Донецк, Россия

 [ORCID: 0000-0001-8625-1406](https://orcid.org/0000-0001-8625-1406)

Приколота Алина Вадимовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры терапии им. проф. А.И. Дядыка факультета непрерывного медицинского и фармакологического образования, Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Донецк, Россия

 [ORCID: 0000-0002-9128-2511](https://orcid.org/0000-0002-9128-2511)

Стефаненко Елизавета Романовна, аспирант кафедры внутренних болезней № 2, Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Донецк, Россия

 [ORCID: 0000-0003-4074-5309](https://orcid.org/0000-0003-4074-5309)

Anastasiya O. Orekhova, Neurologist in the Neurological Department, Railway Clinical Hospital of Donetsk Station, Donetsk, Russia

Evgeniya S. Mikhailichenko, Candidate of Sciences in Medicine, Associate Professor of the Department of Internal Diseases 2, M. Gorky Donetsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Donetsk, Russia

Alina V. Prikolota, Candidate of Sciences in Medicine, Associate Professor of the A.I. Dyadyk Department of Therapy Faculty of Continuing Medical and Pharmaceutical Education M. Gorky Donetsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Donetsk, Russia

Elizaveta R. Stefanenko, Graduate Student of the Department of Internal Diseases 2, M. Gorky Donetsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Donetsk, Russia