

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(37)

2026 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в

Перечень научных изданий
Республики Беларусь
для опубликования
диссертационных исследований
по медицинской
и биологической
отраслям науки
(31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 19.03.26
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 9,34.
Зак. 158.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в
КУП «Редакция газеты
«Гомельская праўда»
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

Главный редактор, председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., профессор)

Редакционная коллегия

В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), К.Н. Буздалкин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н., профессор, научный редактор), А.В. Велчико (к.м.н., доцент), И.В. Веялкин (к.б.н., доцент), Н.Н. Веялкина (к.б.н., отв. секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаяев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызикив (д.м.н., профессор), А.В. Макавич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мицура (д.м.н., профессор, зам. гл. редактора), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), И.В. Назаренко (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н., доцент), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), Р.М. Тахауов (д.м.н., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (д.м.н., доцент)

Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова (д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Л. Богдан (Минск), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.Л. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Корректор

Н.Н. Юрченко

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека», 2026

№ 1(37)

2026

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

ISSN 2074-2088

40 лет после аварии на Чернобыльской атомной электростанции

А.В. Рожко, В.М. Мицура, А.В. Жарикова, С.В. Зыблева, Н.Н. Багинская, И.В. Назаренко
40 лет после аварии на ЧАЭС: роль ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» в совершенствовании качества оказания медицинской помощи пострадавшему населению 5

К.Н. Буздалькин, Н.Г. Власова
Закономерности формирования доз внутреннего облучения населения, подвергшегося радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС 16

С.А. Подберезко, С.Б. Мельнов
Цитогенетические эффекты ионизирующего излучения на гемоциты моллюсков из зоны отчуждения ЧАЭС 23

Ю.В. Чайкова, И.В. Веялкин
Анализ риска развития злокачественных новообразований у персонала Полесского государственного радиационно-экологического заповедника 30

Обзоры и проблемные статьи

О.П. Логинова
Микроэкология влагалища при цервикальной дисплазии: характеристика основных показателей (обзор литературы) 35

М.М. Сулейко, Е.Г. Жук
Ультразвуковое исследование периферических нервов нижних конечностей, дополненное сдвиговой эластографией при диабетической полинейропатии (обзор литературы) 46

Медико-биологические проблемы

К.Ю. Булда, Е.Л. Гасич, А.Д. Коско
Генотипический портрет SARS-COV-2 в Республике Беларусь в период 2020–2021 гг. 54

40 years after Chernobyl nuclear power plant accident

A.V. Rozhko, V.M. Mitsura, A.V. Zharikova, S.V. Zybleva, N.N. Baginskaya, I.V. Nazaranka
40 years after the Chernobyl accident: the role of the State Institution «Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology» in improving the quality of medical care for the affected population 5

C.N. Bouzdalkin, N.G. Vlasova
formation of internal irradiation doses to the population exposed to radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant 16

S.A. Podberezko, S.B. Melnov
Cytogenetic effects of ionizing radiation on hematocytes of mollusks from the Chernobyl exclusion zone 23

Yu.V. Chaikova, I.V. Veyalkin
The risk of malignant neoplasms in the personnel of the Polesie State Radiation and Ecological Reserve 30

Reviews and problem articles

V.P. Lohinava
Vaginal microecology in cervical dysplasia: characteristics of the main parameters (literature review) 35

M.M. Suleiko, E.G. Zhuk
Ultrasound examination of the peripheral nerves of the lower extremities supplemented by shear wave elastography in diabetic polyneuropathy 46

Medical-biological problems

K.Y. Bulda, E.L. Gasich, A.D. Kosko
Genotypic portrait of SARS-COV-2 in the Republic of Belarus in 2020–2021 54

Клиническая медицина

- С.М. Гридюшко, В.Л. Красильникова, О.Н. Дудич, А.М. Прудник**
Дистанция «диск зрительного нерва — макула» как независимый предиктор рефракционных исходов после факоэмульсификации с имплантацией иол 61
- А.О. Жарикова, Я.В. Мордовкина, Т.В. Бобр**
Клинический случай обнаружения напяржённой кисты хиазмально-селлярной области при обследовании пациента с глаукомой 69
- С.Н. Коваль, Е.В. Писпанен, О.А. Худякова, О.С. Ивашкевич**
Анестезиологические аспекты оперативной коррекции ретинопатии недоношенных 76
- К.С. Комиссаров, О.В. Красько, В.С. Пилотович**
Иммуноглобулин А-нефропатия: эпидемиология и клинические фенотипы в Республике Беларусь 85
- Ян Сунь, Вэнь Чэнь, Ли Чжан, Цзин Су, И.В. Назаренко, Д.И. Гавриленко, Лиган Цуй**
Ультразвуковые характеристики лимфомы скелетных мышц (ретроспективное исследование) 92

Обмен опытом

- А.В. Доманцевич, Е.В. Давыдова, В.А. Доманцевич**
Верификация диагноза при транзиторном остеопорозе и асептическом некрозе: сравнительный анализ возможностей современных методов лучевой диагностики 104
- Е.Ф. Мицура, Е.С. Тихонова, И.П. Ромашевская, С.А. Ходулева, А.Н. Демиденко, Е.В. Борисова**
Синдром Фишера — Эванса в практике детского гематолога 112

Clinical medicine

- S.M. Gridjushko, V.L. Krasilnikova, O.N. Dudich, A.M. Prudnik**
The «optic disc — macula» distance as an independent predictor of refractive outcomes after phacoemulsification with IOL implantation
- A.O. Zharikova, Ya.V. Mordovkina, T.V. Bobr**
A clinical case of a tension cyst in the chiasmatal-sellar region during examination of a patient with glaucoma
- S.N. Koval, E.V. Pyspanen, V.A. Hudiakova, V.S. Ivashkevich**
Anesthesiological aspects of surgical correction of retinopathy of prematurity
- K.S. Komissarov, O.V. Krasko, V.S. Pilotovich**
Immunoglobulin A nephropathy: epidemiology and clinical phenotypes in the Republic of Belarus
- Yang Sun, Wen Chen, Li Zhang, Jing Su, I.V. Nazaranka, D.I. Haurylenka, Ligang Cui**
Ultrasound Features in Skeletal Muscle Lymphoma: A Retrospective Observational Study

Experience exchange

- A.V. Domantsevich, E.V. Davydova, V.A. Domantsevich**
Verification of the diagnosis of transient osteoporosis and aseptic necrosis: a comparative analysis of the possibilities of modern methods of radiation diagnosis
- E.F. Mitsura, E.S. Tihonova, I.P. Romashevskaya, S.A. Khoduleva, A.N. Demidenko, E.V. Borisova**
Evans syndrome in the practice of a pediatric hematologist

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ, ДОПОЛНЕННОЕ СДВИГОВОЛЬНОЙ ЭЛАСТОГРАФИЕЙ ПРИ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИНЕЙРОПАТИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

¹ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека» г. Гомель, Беларусь;

²Институт повышения квалификации и переподготовки кадров здравоохранения
УО «Белорусский государственный медицинский университет» г. Минск, Беларусь

В данной статье представлен обзор современных литературных данных, посвящённых применению сдвиговолновой эластографии для оценки жёсткости периферических нервов нижних конечностей у пациентов с диабетической полинейропатией (ДПН). Современные данные указывают на глобальный рост распространённости сахарного диабета (СД) [1]. ДПН нижних конечностей является одним из наиболее распространённых и серьёзных осложнений СД, которое приводит к ухудшению качества жизни пациентов, экономическим затратам и, в конечном итоге, к инвалидизации. Учитывая длительный период отсутствия клинических проявлений (субклиническая форма ДПН нижних конечностей), поиск новых методов ранней диагностики ДПН нижних конечностей является актуальной проблемой как в мире, так и в Республике Беларусь.

Ключевые слова: эластография нервов, эластография сдвиговой волной, диабетическая полинейропатия, ультразвуковое исследование периферических нервов нижних конечностей

Введение

Сахарный диабет (СД) занимает приоритетное место среди международных медико-социальных задач, стоящих перед здравоохранением. Актуальность проблемы СД как неинфекционного заболевания была официально признана на международном уровне в декабре 2006 года: Генеральная Ассамблея Организации Объединённых наций приняла декларацию, в которой поднимается проблема значительного роста заболеваемости СД в мире, носящего характер эпидемии. По данным Международной диабетической федерации за 2025 год, отмечается глобальный рост СД для отдельных людей, семей и стран. Каждый девятый человек в возрасте 20–79 лет, что составляет 11,1% взрослого населения, живёт с СД, причём более 4 из 10 не знают об этом заболевании. По прогнозам Международной диабетической федерации к 2050 году около 853 миллионов человек будут

страдать СД, что прогнозирует рост заболеваемости на 46% [1].

В Республике Беларусь на данный момент состоит под наблюдением около 380 тысяч пациентов с СД, из них более 19 тысяч — с СД 1 типа, более 350 тысяч — с СД 2 типа; ежегодно выявляются 5–8% новых случаев заболевания [2].

Диабетическая нейропатия — это наиболее распространённое хроническое осложнение СД, представляющее собой гетерогенную группу состояний, поражающих различные отделы нервной системы и представленных различными клиническими проявлениями [3]. Диабетическая полинейропатия — специфическое для СД осложнение, сопровождающееся клинической симптоматикой или без таковой, и характеризующееся поражением периферической нервной системы при исключении других этиологических причин. На её долю приходится около 75% всех диабе-

тических нейропатий [4, 5]. Наличие ДПН нижних конечностей сопряжено с неблагоприятным прогнозом, достоверно повышает риск формирования язв стоп, ассоциировано с 15-кратным увеличением вероятности ампутаций нижних конечностей и последующей инвалидизацией [6].

Одним из наиболее серьезных осложнений ДПН нижних конечностей является диабетическая стопа — комплексное поражение мягких тканей, связочного аппарата и костной структуры, которое в литературе также называют нейроостеоартропатией или остеоартропатией Шарко. Эта патология приводит к необратимой деформации стопы и/или голеностопного сустава, что создаёт предпосылки для формирования трофических язв и вторичной инфекции. В результате значительно возрастает риск развития гангрены и необходимости ампутации нижних конечностей. По данным Международной диабетической федерации за 2025 год каждые 30 секунд где-то в мире из-за диабета теряется нижняя конечность [1]. Таким образом, ДПН нижних конечностей оказывает значительное негативное влияние на качество жизни пациентов и несёт большие экономические затраты на лечение и реабилитацию.

Патогенез ДПН имеет многофакторный характер, но основной причиной, влияющей на возникновение данного состояния, является гипергликемия [7, 8]. В настоящее время выделяют 4 ключевые теории патогенеза ДПН: метаболическую, сосудистую, иммунную и наследственную. Повышение уровня глюкозы в крови вызывает нейрональное повреждение вследствие внутриклеточного повышения уровня глюкозы с избыточным метаболизмом и накоплением токсических продуктов, таких как фруктоза и сорбитол, повышением внутриклеточного осмотического давления, отёком нейронов. В настоящее время феномен окислительного стресса считается ключевым патогенетическим механизмом поздних осложнений СД, включая диффузное поражение периферических нервов [9]. Диабетическая микроангиопатия проявляется окклюзиями и микротромбо-

зами капилляров, что вызывает ишемию и последующую дегенерацию нервных волокон. Одновременно конечные продукты гликирования белков стимулируют секрецию провоспалительных цитокинов, оказывающих выраженное повреждающее действие на эндотелиальные клетки [10]. В отдельных работах рассматривается значение наследственной и дизиммунной теории ДПН [11, 12]. Патоморфологическую основу ДПН составляют диффузные или локальные демиелинизированные участки, дегенерация аксонов, а также уменьшение просвета сосудов и утолщение базальной мембраны капилляров [14].

Целью данной обзорной статьи является оценка потенциала метода ультразвуковой эластографии сдвиговой волны периферических нервов нижних конечностей в диагностике ДПН нижних конечностей.

Материал и методы исследования

Для анализа актуальной информации по рассматриваемой теме был проведён поиск публикаций в авторитетных базах данных: Российской научной электронной библиотеки (eLIBRARY.ru), Google Scholar и PubMed (US National Library of Medicine). Поиск ограничивался периодом с 1990 по 2025 г. и осуществлялся с использованием следующих ключевых терминов: «эластография периферических нервов», «ультразвуковая эластография сдвиговой волны», «ультразвуковое исследование периферических нервов при диабетической полинейропатии» и «диагностика диабетической полинейропатии». Отобранные материалы проанализированы с целью выявления ключевых направлений исследований, определения актуальных клинических и методологических проблем, а также формирования представления о перспективных направлениях дальнейшего развития применения эластографии в диагностике поражений периферической нервной системы при СД.

Обсуждение

ДПН обычно развивается не ранее чем через 5 лет после начала СД 1 типа. В то же

время при развитии СД 2 типа ДПН уже может присутствовать при установлении диагноза, поскольку этот тип диабета часто протекает без проявления симптомов на ранних стадиях и выявляется несвоевременно. Также следует отметить, что у многих пациентов неврологические нарушения обнаруживаются при скрининговом обследовании или в момент выявления осложнений [15].

Ежегодную оценку признаков ДПН на основании анамнеза и простых клинических тестов следует проводить у всех пациентов с СД 1 типа, имеющих длительность заболевания 5 лет и более, а также у всех пациентов с СД 2 типа. При постановке диагноза ДПН важно дифференцировать её от других форм нейропатий, в частности от воспалительных и аутоиммунных, токсических и наследственных. Кроме того, возможно сочетание вышеперечисленных нейропатий с ДПН, что значительно затрудняет диагностику вследствие их взаимного наложения. Важность исключения альтернативных причин нейропатии у пациентов с СД подтверждена данными Рочестерского исследования, согласно которому примерно у 10% больных СД выявлялась недиабетическая этиология полинейропатии [17].

Скрининг ДПН нижних конечностей включает сбор подробного медицинского анамнеза и пять основных сенсорных тестов: ахиллов рефлекс, вибрационную, болевую и температурную чувствительность, а также чувствительность к давлению. Для объективизации симптомов ДПН нижних конечностей используют клинические опросники (шкалы), основными из которых являются шкала общего симптоматического счёта (Total Symptomatic Score — TSS) и шкала нейропатических симптомов (Neuropathy Symptomatic Score — NSS). Общим недостатком указанных шкал является субъективность ощущений пациентов. Для количественной оценки сенсорной нейропатии применяется шкала нейропатического дисфункционального счёта (Neuropathy Disability Score — NDS), разработанная MJ Young с соавторами [16]. С применением данной шкалы проводит-

ся количественная оценка вибрационной, тактильной, болевой и температурной чувствительности, а также состояния ахилловых и коленных рефлексов.

«Золотым стандартом» в диагностике ДПН является электронейромиографическое исследование. Проведение электронейромиографии (ЭНМГ) периферических нервов может быть рекомендовано пациентам с СД при необходимости подтверждения диагноза, при атипичной клинической картине поражения нервной системы, для выявления сопутствующей неврологической патологии. ЭНМГ является количественным, объективным и чувствительным методом. Тем не менее, существуют некоторые ограничения этой техники, такие как инвазивность (игольчатая ЭНМГ), длительность проведения процедуры, необходимость определенной температуры помещения, а также неприятные ощущения пациента (пациенты описывают свои ощущения, как дискомфорт или же боль). Атрофия мышц, наличие рубцовых изменений кожи или нарушение целостности кожных покровов в области исследования являются противопоказанием к ЭНМГ. Относительными противопоказаниями являются эпилепсия, психические расстройства и наличие кардиостимулятора.

Также к редким методам диагностики ДПН нижних конечностей можно отнести биопсию икроножного нерва и биопсию кожи, которые позволяют выявить повреждение тонких нервных волокон на ранних стадиях заболевания и используются в сложных диагностических ситуациях [19]. Однако с учётом инвазивности исследования, возможных осложнений процедуры, а также того факта, что данные биопсии нерва патогномичны лишь при высоко специфических заболеваниях, этот метод применяется крайне редко. В литературе встречаются данные о выполнении конфокальной микроскопии тонких нервов роговицы. Данный метод оценки плотности нервных окончаний может быть полезен пациентам с СД и подозрением на поражение немиелинизированных нервных воло-

кон в сложных диагностических случаях [20]. Учитывая вышеперечисленное, весьма важным остаётся вопрос ранней диагностики ДПН нижних конечностей. Примечательно, что выявление ДПН часто задерживается из-за отсутствия клинических проявлений (практически 50% пациентов с дистальной ДПН нижних конечностей не предъявляют жалоб), в то же время при активном опросе указывают на присутствие характерной симптоматики [6].

Исходя из вышеперечисленного, в настоящее время перспективным направлением ультразвуковой диагностики является оценка жёсткости периферических нервов нижних конечностей у пациентов с дистальной ДПН с использованием эластографии сдвиговой волны (ЭСВ). Данное направление имеет практическое значение, поскольку позволяет перейти от субъективной оценки неврологических симптомов к объективному, неинвазивному методу диагностики поражения периферических нервов. Внедрение эластографии периферических нервов в клиническую практику может стать инструментом не только диагностики ДПН, но и способом профилактики её тяжёлых осложнений.

Возможность своевременной постановки верного диагноза снижает риск развития диабетической стопы, ампутаций и, как следствие, потери трудоспособности — ключевых тяжёлых осложнений, разрушающих не только здоровье, но и социальную, психологическую и экономическую сферы жизни пациента.

Ультразвуковая диагностика

Ультразвуковые методы диагностики являются высоко востребованными в медицине благодаря ряду ключевых преимуществ: безопасность и неинвазивность, отсутствие неприятных ощущений, возможность применения у «постели больного», а также относительно низкая стоимость в сравнении с другими диагностическими методами, такими как компьютерная томография и магнитно-резонансная томография. При ультразвуковом исследо-

вании (УЗИ) можно оценить эхогенность, структуру и целостность нерва, а также измерить его площадь поперечного сечения. В режиме доплеровского картирования можно определить наличие или отсутствие васкуляризации нерва.

В последние годы эластография всё чаще используется в медицине и является существенным дополнением к традиционному УЗИ. Эластография сдвиговой волны — это неинвазивный метод визуализации, который отображает упругие свойства тканей путем оценки скорости распространения сдвиговой волны. Модуль Юнга является показателем жёсткости. Его можно вычислить, используя формулу, связывающую модуль Юнга (E), скорость сдвиговой волны (C) и плотность вещества (ρ): $E=3\rho C^2$. Упругость ткани, выраженная через параметр E , прямо пропорциональна скорости данной волны. Соответственно, чем выше жёсткость ткани, тем выше скорость распространения сдвиговой волны [21]. Европейская федерация ультразвука в биологии и медицине предлагает применение эластографии в качестве аналога удалённой пальпации, которая представляет дополнительную информацию о состоянии тканей организма [22].

В мировой литературе найдены немногочисленные работы, посвящённые ультразвуковому исследованию периферических нервов нижних конечностей с применением ЭСВ. Преимущественно все они посвящены исследованию большеберцового нерва. Bingtian Dong с соавторами в своём исследовании провели метаанализ шести работ, в которых оценивалась жёсткость большеберцового нерва с помощью ЭСВ [23]. В пяти из шести исследований использовали двумерную технику ЭСВ для оценки жёсткости нервов, и только в одном исследовании — точечную технику. Выполненные научные исследования представлены учёными Китайской Народной Республики (5 работ) и учёными Республики Турция (одна работа). Суммарная чувствительность и специфичность метода ЭСВ для жёсткости большеберцового нерва, по дан-

ным метаанализа, составила 68,3–90,0% и 73,8–85,0% соответственно. Диапазон пороговых значений составил 51,1–71,3 кПа. Такие факторы, как плоскость визуализации (продольная или аксиальная), положение конечности, различные анатомические области могли способствовать различиям в пороговых значениях. Полученные данные позволили понять, что метод демонстрирует хорошую эффективность в диагностике ДПН нижних конечностей и обладает значительным потенциалом в качестве важного и неинвазивного вспомогательного инструмента в диагностике ДПН нижних конечностей. Для обеспечения его общеклинической применимости необходима дальнейшая работа в данной области.

В другом исследовании зарубежных авторов — He Y et al., 2019 г. — выполнено определение жёсткости большеберцовых нервов с помощью ЭСВ у 40 пациентов с ДПН нижних конечностей, 40 пациентов с СД без ДПН нижних конечностей и 40 здоровых лиц, а также определена площадь поперечного сечения большеберцового нерва [24]. Коэффициенты жёсткости большеберцового нерва у пациентов с ДПН нижних конечностей продемонстрировали статистически значимое превышение показателей по сравнению со здоровыми добровольцами и пациентами с СД без ДПН ($p < 0,001$). Двусторонний анализ показал отсутствие значимой разницы в показателях жёсткости правого и левого большеберцовых нервов у пациентов с ДПН ($p > 0,05$). Жёсткость большеберцового нерва с каждой стороны также не имела статистически значимой разницы у пациентов с ДПН ($p > 0,05$). Площадь поперечного сечения большеберцового нерва в группе с ДПН была значительно больше, чем в других исследуемых группах ($p < 0,001$). Оптимальное пороговое значение скорости сдвиговой волны большеберцового и срединного нервов при диагностике ДПН нижних конечностей составило 4,11 м/с и 4,06 м/с соответственно.

Magdalena Kramer с соавторами в своей статье указывает на противоречивые

данные исследований касаясь увеличения площади поперечного сечения нервов при ДПН [25]. Некоторые авторы предполагают, что ДПН не вызывает увеличения площади поперечного сечения нервов, особенно при классическом дистально-симметричном аксональном типе [26, 27]. Kun Wang, Dong Yu и соавторы проводили исследование ультразвуковых характеристик большеберцового нерва у пациентов с ДПН и СД 2 типа. По результатам работы толщина и площадь поперечного сечения большеберцового нерва, измеренные с помощью УЗИ, имеют отличия у здоровых пациентов и пациентов с СД 2 типа и полинейропатией [13]. Другие авторы обнаружили, что размер нерва может увеличиваться при ДПН по сравнению с контрольной группой, в зависимости от её тяжести [28].

Фомина С.В. с соавторами опубликовала данные о применении ультразвуковой эластографии для оценки состояния периферических нервов у детей с СД 1 типа [29]. Полученные данные о состоянии седалищных, малоберцовых и большеберцовых нервов свидетельствуют о возможном использовании ультразвуковой эластографии для динамического наблюдения состояния периферических нервов у пациентов с СД 1 типа в детском и подростковом возрасте.

Группа исследователей из Индии — Pradhan D.R., Saxena S. и соавторы — в своей работе изучала роль сдвиговой эластографии большеберцового нерва как потенциального метода ультразвуковой диагностики большеберцовой невропатии у пациентов с СД 2 типа [30]. В ходе исследования было включено 50 субъектов в каждую из групп: пациенты с диабетической большеберцовой нейропатией, диагностированной на основании клинических признаков, данных нервной проводимости и здоровые добровольцы без СД и невропатии. Жёсткость большеберцового нерва была значительно выше в группе наблюдения по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$). Длительность СД и значения гликированного гемоглобина до-

стоверно не влияли на значения скорости сдвиговой волны в группе наблюдения. При пороговом значении скорости сдвиговой волны, равном 3,13 м/с, чувствительность и специфичность метода в диагностике ДПН составила 94,0% и 88,0% соответственно [30].

Сведения об исследованиях, касающиеся ультразвуковой эластографии при оценке икроножного нерва, единичны. Mohamed A. с соавторами в своей работе оценивали жёсткость и площадь поперечного сечения икроножного нерва при помощи ЭСВ [18]. Средняя площадь поперечного сечения икроножного нерва с обеих сторон составила $4,03 \pm 1,16$ мм². Средний модуль упругости икроножного нерва справа составил по короткой оси $24,92 \pm 6,08$ кПа, по длинной оси — $26,45 \pm 5,66$ кПа. Средний модуль упругости левого икроножного нерва по короткой оси был равен $24,10 \pm 4,10$ кПа, по длинной оси — $23,90 \pm 4,90$ кПа. Площадь поперечного сечения икроножных нервов положительно коррелировала с ростом исследуемых пациентов ($p < 0,01$). Небольшой размер выборки не позволяет в полной мере экстраполировать выводы на общую популяцию, что требует их дальнейшей верификации в крупномасштабном анализе.

В результате поиска в доступных научных литературных источниках не было обнаружено публикаций белорусских авторов, посвящённых эластографии периферических нервов, что говорит о необходимости проведения собственных исследований в данной области для формирования опыта и доказательной базы.

УЗИ периферических нервов нижних конечностей с использованием ЭСВ проводилось с января по сентябрь 2025 года в ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» (г. Гомель, Республика Беларусь). В данное исследование были включены пациенты с СД 1 и 2 типа, имеющие установленный диагноз «ДПН нижних конечностей», а также здоровые добровольцы. Все пациенты были осмотрены

неврологом, другие формы полинейропатий были исключены. УЗИ выполнялось на ультразвуковом сканере MINDRAY DC-80 с применением линейного датчика 12 МГц. ЭСВ проводилась в продольной плоскости нерва на 2 см выше медиальной лодыжки с использованием методики точечной оценки модуля упругости.

Статистическая обработка данных осуществлена с помощью программы Statistica 10,0 (США). Уровень статистической значимости принят равным $p < 0,05$. С использованием ЭСВ была проведена оценка жёсткости 28 нервов нижних конечностей у пациентов с ДПН (16 икроножных и 12 большеберцовых нервов), а также оценена жёсткость 36 здоровых нервов (18 икроножных и 18 большеберцовых). Медиана возраста в группе пациентов с ДПН нижних конечностей составила 55,5 года, в контрольной группе — 55,0 лет. Различия по возрасту между группами не достигли статистической значимости ($p > 0,05$), что подтверждает их сопоставимость. Мы определили, что средний модуль упругости большеберцового нерва в группе контроля составил $47,0 \pm 7,5$ кПа, тогда как у пациентов с ДПН он достоверно выше — $86,7 \pm 20,9$ кПа ($p < 0,05$). Аналогичные результаты получены для икроножного нерва: в группе здоровых лиц — $34,6 \pm 11,4$ кПа, при ДПН нижних конечностей — $105,6 \pm 23,4$ кПа ($p < 0,05$). Таким образом, у пациентов с ДПН нижних конечностей наблюдается статистически значимое повышение жёсткости как большеберцового, так и икроножного нервов по сравнению со здоровыми лицами, что подтверждает потенциальную диагностическую ценность ультразвукового метода исследования периферических нервов, дополненного ЭСВ при оценке нейропатических изменений при СД. Представленные результаты получены в ходе пилотного этапа исследования. Планируемое расширение выборки в последующих фазах наблюдения позволит верифицировать выявленные закономерности и повысить статистическую мощность анализа.

Выводы

Поиск новых методов ранней диагностики ДПН является актуальной проблемой в мире и Республике Беларусь. Настоящий обзор подтверждает, что УЗИ с ЭСВ является перспективным неинвазивным методом оценки изменений периферических нервов при ДПН нижних конечностей. Существующие немногочисленные исследования демонстрируют значительные методологические и клинические ограничения. В частности, большинство работ сосредоточены исключительно на пациентах с СД 2 типа, что исключает возможность обобщения выводов на популяцию с СД 1 типа, у которой ДПН нижних конечностей также является частым и тяжёлым осложнением. Кроме того, отсутствуют данные о жёсткости икроножного и малоберцового нервов, которые являются основными объектами диагностики при ДПН. Географическая концентрация исследований (преимущественно выборки пациентов Китая) и отсутствие стандартизированных протоколов эластографии снижают воспроизводимость результатов. Таким образом, для того чтобы метод ультразвуковой эластографии периферических нервов мог быть внедрён в клиническую практику в качестве дополнительного инструмента диагностики ДПН нижних конечностей, необходимы дальнейшие масштабные исследования.

Библиографический список

1. International Diabetes Federation: [<https://idf.org>]. – Brussel, 1950-2025. – URL: <https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures> (date of access: 01.10.2025).
2. Министерство здравоохранения Республики Беларусь: [<https://minzdrav.gov.by/ru/>]. – <https://minzdrav.gov.by/ru/novoe-na-sayte/vsemirnyu-denborby-s-diabetom-14-noyabrya/> (дата обращения: 01.10.2025).
3. Pop-Busui, R. Diabetic Neuropathy: A Position Statement by the American Diabetes Association / R. Pop-Busui, A.J. Boulton, E.L. Feldman // *Diabetes Care*. – 2017. – Vol. 40, №1. – P. 136-154.
4. Albers, J.W. Diabetic neuropathy: mechanisms, emerging treatments, and subtypes / J.W. Albers, R. Pop-Busui // *Curr Neurology Neuroscience Reports*. – 2014. – Vol. 14, №8. – P. 473.
5. Diabetic polyneuropathies: update on research definition, diagnostic criteria and estimation of severity / P.J. Dyck, J.W. Albers, H. Andersen, [et al.] // *Diabetes Metabolism Research Reviews*. – 2011. – Vol. 27, №7. – P. 620-628.
6. Диагностика и рациональная терапия болевой формы диабетической периферической нейропатии: междисциплинарный консенсус экспертов / Г.Р. Галстян, Е.Г. Старостина, Н.Н. Яхно, И.В. Гурьева [и др.] // *Сахарный диабет*. – 2019. – Т. 22, №4. – С. 305-327.
7. Brownlee, M. Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications / M. Brownlee // *Nature*. – 2001. – Vol. 38, №414. – P. 813.
8. Brownlee, M. The pathobiology of diabetic complications a unifying mechanism / M. Brownlee // *Diabetes* – 2005. – Vol. 54, №6. – P. 1615-1625.
9. Нестерова, М.В. Патогенез, классификация, клиника и лечение диабетической полинейропатии / М.В. Нестерова, В.В. Галкин // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. – 2013. – Т. 5, №2. – С. 97-105.
10. Ryle, C. Donaghy M. Non-enzymatic glycation of peripheral nerve proteins in human diabetics / C. Ryle // *Neurol sci*. – 1995. – Vol. 129. – P. 62.
11. Specific fiber deficits in sensorimotor diabetic polyneuropathy correspond to cytotoxicity against neuroblastoma cells of sera from patients with diabetes / G.L. Pittenger, R.A. Malik [et al.] // *Diabet Care*. – 1999. – Vol. 22, №11. – P. 1839-1844.
12. Serum from patients with type 2 diabetes with neuropathy induces complement-independent, calcium-dependent apoptosis in cultured neuronal cells / S. Srinivasan, M.J. Stevens, H. Sheng [et al.] // *The Journal of Clinical Investigation*. – 1998. – Vol. 102, №7. – P. 1454-1462.
13. Retrospective study of the ultrasound characteristics of the tibial nerve in patients with type 2 diabetic peripheral neuropathy / K. Wang, D. Yu, T. Yao, S. Zhang [et al.] // *Ann Palliat Med*. – 2021. – Vol. 10, №8. – P. 8787-8796.
14. Inflammatory vasculopathy in multifocal diabetic neuropathy / G. Said, C. Lacroix, P. Lozeron // *Brain*. – 2003. – №126. – P. 376.
15. Нестерова, М.В. Патогенез, классификация, клиника и лечение диабетической полинейропатии / М.В. Нестерова, В.В. Галкин // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. – 2013. – Т. 5, №2. – С. 97-105.
16. A multicenter study of the prevalence of diabetic peripheral neuropathy in the United Kingdom hospital clinic population / M.J. Young, A.J.M. Boulton [et al.] // *Diabetologia*. – 1993. – Vol 36, №2. – P. 150-154.
17. The prevalence by staged severity of various types of diabetic neuropathy, retinopathy and nephropathy in a population-based cohort: the Rochester Diabetic Neuropathy Study / P.J. Dyck, K.M. Katz, J.L. Karnes [et al.] // *Neurology*. – 1993. – № 43. – P. 817-824.

18. Shear Wave Elastography of the Sural Nerve in Healthy Subjects / A. Mohamed [et al.] // International Journal of Biomedicine. – 2022. – Vol. 12, №1. – P. 34-37.
19. Бреговская, А.В. Ранняя диагностика диабетической полинейропатии и применение альфа-липоевой кислоты для профилактики ее прогрессирования / А.В. Бреговская, А.Ю. Бабенко, Е.В. Гринева // РМЖ. – 2018. – Т. 1, №1. – С. 41-46.
20. Диагностика диабетической полиневропатии в первичном звене здравоохранения / В.Н. Храминин, И.А. Строков, О.С. Давыдов, М.В. Чурюканов // Российский журнал боли – 2021. – Т. 19, №2. – С. 47-53.
21. Физические основы эластографии печени / В.А. Изранов [и др.] // Вестник Балтийской федерации имени Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. – 2019. – № 2. – С. 69-87.
22. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, Update 2017 (Long Version) / C.F. Dietrich [et al.] // Ultraschall in der Med. – 2017. – Vol. 38, №4. – P. e16-e47.
23. Shear wave elastography as a quantitative biomarker of diabetic peripheral neuropathy, systematic review and meta-analysis / B. Dong, G. Lyu [et al.] // Front Public Health. – 2022. – Vol. 10. – P.12.
24. Shear wave elastography evaluation of the median and tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy / Ying He, Xi Xiang [et al.] // Quant Imaging Medicine and Surgery. – 2019. – Vol. 9, №2. – P. 273-282.
25. Nerve Ultrasound as Helpful Tool in Polyneuropathies / M. Kramer, A. Grimm [et al.] // Diagnostics. – 2021. – Vol 31, №11. – P. 211.
26. Nerve ultrasound in polyneuropathies / J.A. Telleman, A. Grimm, [et al.] // Muscle Nerve. – 2018. – Vol. 57, №5. – P. 716-728.
27. Hobson-Webb, L.D. Nerve ultrasound in diabetic polyneuropathy: Correlation with clinical characteristics and electrodiagnostic testing / L.D. Hobson-Webb, J.M. Massey, V.C. Juel // Muscle Nerve. – 2013.– № 47. – P. 379–384.
28. High resolution ultrasonography of peripheral nerves in diabetic peripheral neuropathy / Y. Singh, R. Dixit [et al.] // Neurol India. – 2019. – № 67. – P. 71-76.
29. Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа / С.В. Фомина, В.Д. Завадовская [и др.] // Медицинская визуализация. – 2024. – Т. 28, №4. – С. 133–141.
30. Kant R, Kumar M, Saran S. Shear wave elastography of tibial nerve in patients with diabetic peripheral neuropathy – A cross – sectional study / D.R. Pradhan, S. Saxena [et al.] // Skeletal Radiol. – 2024. – Vol. 57, №3. – P. 547-554.

M.M. Suleiko, E.G. Zhuk

ULTRASOUND EXAMINATION OF THE PERIPHERAL NERVES OF THE LOWER EXTREMITIES SUPPLEMENTED BY SHEAR WAVE ELASTOGRAPHY IN DIABETIC POLYNEUROPATHY

This article presents a review of current literature on the use of shear wave sonoelastography for assessing the stiffness of peripheral nerves in the lower limbs of patients with diabetic polyneuropathy (DPN). The global prevalence of diabetes mellitus (DM) continues to rise, exceeding even the most conservative predictions of researchers. Diabetic polyneuropathy is one of the most common and serious complications of diabetes, significantly impairing patients' quality of life, imposing substantial economic burden, and ultimately leading to disability. Given the prolonged asymptomatic phase – often referred to as subclinical DPN – the development and validation of new methods for early diagnosis of diabetic neuropathy remain a pressing challenge both globally and in the Republic of Belarus.

Key words: *nerve sonoelastography, shear wave elastography, diabetic polyneuropathy, ultrasound examination of the lower extremity peripheral nerves*

Поступила 05.12.25