

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-4-78-97>

Роль ультразвукового исследования в диагностике диабетической дистальной полинейропатии у детей и взрослых, страдающих сахарным диабетом 1-го типа

М.Г. Данилова¹, В.Г. Салтыкова², Е.Е. Усенко¹,
И.А. Абоян¹, М.Н. Моргунов³, Д.Р. Рамонова²

¹ МБУЗ “Клинико-диагностический центр «Здоровье» города Ростова-на-Дону”,
г. Ростов-на-Дону

² ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

³ ФГБОУ ВО “Ростовский государственный медицинский университет”
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону

В литературном обзоре рассматривается возможность применения ультразвукового исследования в диагностике диабетической дистальной полинейропатии при сахарном диабете 1-го типа. Подробно описан патогенез развития диабетической дистальной полинейропатии и связанные с ним ультразвуковые изменения периферических нервов верхних и нижних конечностей. Освещена практика исполь-

зования ультразвуковой эластографии в диагностике диабетической дистальной полинейропатии. Поднимаются вопросы современной инструментальной диагностики состояния периферических нервов конечностей при сахарном диабете 1-го типа, включающей электрофизиологическое исследование и визуализирующие технологии. Сделан акцент на использовании ультразвуковой диагностики диабетиче-

М.Г. Данилова – врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики МБУЗ “Клинико-диагностический центр «Здоровье» города Ростова-на-Дону”, г. Ростов-на-Дону.
<https://orcid.org/0000-0001-9177-536X>

В.Г. Салтыкова – д.м.н., профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3879-6457>

Е.Е. Усенко – к.м.н., заведующая отделением ультразвуковой диагностики МБУЗ “Клинико-диагностический центр «Здоровье» города Ростова-на-Дону”, г. Ростов-на-Дону. <https://orcid.org/0000-0002-4146-8270>

И.А. Абоян – д.м.н., профессор, главный врач МБУЗ “Клинико-диагностический центр «Здоровье» города Ростова-на-Дону”, г. Ростов-на-Дону.

М.Н. Моргунов – к.м.н., заведующий отделением ультразвуковой диагностики Клиники ФГБОУ ВО “Ростовский государственный медицинский университет” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону. <https://orcid.org/0000-0002-6238-9782>

Д.Р. Рамонова – аспирант кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва.

Контактная информация: 344011 г. Ростов-на-Дону, пер. Доломановский, д. 70/3, Клинико-диагностический центр “Здоровье”, отделение ультразвуковой диагностики. Данилова Марина Геннадьевна.
Тел.: +7 (863) 267-56-05. E-mail: danilova-m82@mail.ru

ческой дистальной полинейропатии в детской популяции.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование нервов, сахарный диабет 1-го типа, диабетическая дистальная полинейропатия, периферические нервы, дети.

Цитирование: Данилова М.Г., Салтыкова В.Г., Усенко Е.Е., Абоян И.А., Моргунов М.Н., Рамонова Д.Р. Роль ультразвукового исследования в диагностике диабетической дистальной полинейропатии у детей и взрослых, страдающих сахарным диабетом 1-го типа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2020; 4: 78–97. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-4-78-97>

Согласно действующим Российским клиническим рекомендациям 2019 г., определение сахарного диабета (СД) 1-го типа (СД1) звучит как большая группа сложных метаболических заболеваний, которая характеризуется хронической гипергликемией, обусловленной нарушением секреции или действия инсулина или сочетанием этих нарушений [1]. Диабетическая нейропатия – это комплекс клинических и субклинических синдромов, каждый из которых характеризуется диффузным или очаговым поражением периферических и/или автономных нервных волокон в результате СД [1]. 9-е издание Атласа Международной федерации диабета (International Diabetes Federation (IDF)) 2019 г. [2] гласит, что количество пациентов с СД1 в мире в возрасте до 20 лет возросло до 1 млн 106 тыс. при общей численности населения от 0 до 19 лет 2,58 млрд, из них – 600,9 тыс. детей (возраст менее 15 лет) при общей численности детского населения 1,98 млрд. Ежегодный прирост вновь выявленных случаев заболевания СД1 в группе от 0 до 19 лет составляет 128,9 тыс., от 0 до 14 лет – 98,2 тыс. [2]. В настоящее время в России основным источником эпидемиологических характеристик СД в различных возрастных группах является Федеральный (ранее Государственный) регистр больных СД, по данным которого общая численность детей (0–<15 лет) с СД1 на 31.12.2017 г. составила 23 923 человека, подростков (15–<18 лет)

– 9 207 человек, всего с СД1 в России на эту дату зарегистрировано 1 240 242 пациента [3]. Распространенность СД1 среди детей в Российской Федерации составляет 86,73 случая на 100 тыс. населения, у подростков – 203,29; заболеваемость СД1 у детей – 11,78 случая на 100 тыс. населения, у подростков – 8,03 [4]. Причем дети в возрасте 10–15 лет представляют собой группу наиболее высокого риска: среди них наблюдается неуклонный рост распространенности как СД1, патогномичного для данной возрастной категории, так и СД 2-го типа (СД2). А с учетом ожидаемой длительности СД при дебюте в детском возрасте риск развития хронических диабетических осложнений возрастает. Это достаточно серьезная проблема здравоохранения, связанная с выраженным нарушением качества жизни ребенка, инвалидизацией больных и снижением продолжительности жизни [3]. У детей и подростков с СД1 из хронических осложнений чаще всего регистрируется диабетическая нейропатия (10,9 и 40,8% соответственно) [3], которая у большинства детей и подростков проявляется в виде дистальной полинейропатии (ДПН) и автономной нейропатии [5, 6]. В последние годы возрос интерес к проблеме диабетической ДПН (ДДПН) у детей, притом что ранее она считалась редкостью, вероятнее всего, из-за недостатка информации об этиологии и патофизиологии ДДПН в детском возрасте. Однако в отечественных публикациях можно встретить данные по наличию ДДПН у детей с СД1 в возрасте 5 лет и старше [7, 8]. По оценкам различных авторов [9, 10], заболеваемость ДДПН колеблется в широких пределах – от 9 до 72% у пациентов с СД1, что нередко зависит от многих факторов, таких как возраст дебюта СД, длительность заболевания СД, используемые методы диагностики. В детской популяции ДДПН встречается примерно у 50% всех детей с длительностью заболевания 3 года и более, и до 25% детей с недавно диагностированным СД уже имеют патологические изменения нервной проводимости по данным электронейромиографии (ЭНМГ) [11–13]. Тем не менее распространенность ДДПН у детей и подростков с СД1 часто недооценивается в полной мере в связи с субклиническим течением ДДПН и невозможностью проведения полного скринингового обследова-

дования всех пациентов с СД на предмет наличия нейропатии [14].

В Российских клинических рекомендациях по ведению детей с СД1 указано, что для своевременного выявления диабетической нейропатии у пациентов с СД1 начиная с возраста 11 лет при длительности заболевания 2–5 лет рекомендуются осмотр и консультация врача-невролога ежегодно [1]. Выпущенный в 2013 г. International Diabetes Federation (IDF) совместно с International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes (ISPAD) “Карманный справочник по ведению диабета у детей и подростков в странах с ограниченными ресурсами” [15] рекомендует осматривать стопу на предмет нейропатии, инфекций, язв и т.д. через 2 года после возникновения СД и в дальнейшем ежегодно.

В алгоритмы диагностики ДДПН входят: выявление жалоб, неврологический осмотр, лабораторные и инструментальные методы. Общие симптомы у детей – боли, парестезии и снижение поверхностной чувствительности в дистальных отделах нижних конечностей. По данным литературы [5], у детей в патологический процесс сначала вовлекаются тонкие волокна, что ведет к более ранней утрате болевой и температурной чувствительности, а у взрослых чаще изначально нарушаются вибрационная чувствительность и мышечно-суставное чувство, так как высокомиелинизированные волокна глубокой чувствительности считаются наиболее уязвимыми к гипергликемии. Двигательные нарушения у детей обычно менее выражены и проявляются гипо-, а потом и арефлекси-ей; могут наблюдаться болезненные спазмы икроножных мышц. Но даже при отсутствии жалоб необходимо проводить тщательный неврологический осмотр для выявления доклинической стадии ДДПН [1]. С этой целью в клинической практике наиболее широко применяются 10-граммовый монофиламент (Semmes–Weinstein), с помощью которого оценивают тактильную чувствительность [16], и неврологический камертон 128 Гц (Rydel–Seiffer), позволяющий определять вибрационную чувствительность [17, 18]. Также необходимо изучить температурную [19, 20] и болевую [21] чувствительность.

Для количественной оценки клинических симптомов разработаны различные

опросники и шкалы диагностики, такие как DN4 (Douleur Neuropathique 4), NIS (Neuropathy Impairment Score), NSS (Neuropathy Symptom Score), MNSI (Michigan Neuropathy Screening Instrument), которые используются в России [18, 22]. В зарубежных странах для этих целей также используется шкала TCNS (Toronto Clinical Neuropathy Score) [23–27].

В большинстве случаев диагноз “ДДПН” выставляется на основании жалоб, данных неврологического осмотра и результатов лабораторно-инструментальных исследований. В 1988 г. в Сан-Антонио был достигнут консенсус в отношении методов диагностики ДДПН, рекомендующий проводить следующие мероприятия: выявление симптомов, неврологический анализ, количественное сенсорное тестирование, автономные функциональные пробы, электродиагностическое исследование (определение скорости проведения импульса по нерву). При этом диагноз “ДДПН” должен быть подтвержден данными как минимум двух из пяти перечисленных диагностических методов [28, 29].

На сегодняшний день “золотым стандартом” в диагностике ДДПН является ЭНМГ [5, 24, 30–35]. В некоторых источниках даже указано, что для диагностики ДДПН применяется только ЭНМГ, а визуализирующие методы не используются [36]. При помощи ЭНМГ возможно оценить функциональное состояние периферических нервов и мышц, отследить состояние нервных волокон в динамике и определить эффективность терапии [37]. К исследуемым параметрам при проведении ЭНМГ относятся скорость распространения возбуждения по двигательным и чувствительным волокнам нервов конечностей, определение М-ответа и резидуальной латентности. Существует мнение, что именно резидуальная латентность является ценным параметром для ранней диагностики ДДПН, так как она отражает состояние тонких безмиелиновых терминальных волокон (нерв при входе в мышцу распадается на терминали, не имеющие миелиновой оболочки), которые подвергаются поражению ранее остальных [37]. F. Cenesiz et al. (2003) [38] провели электрофизиологическое исследование периферических нервов верхних (срединный и локтевой) и нижних (малоберцовый,

большеберцовый и икроножный) конечностей у 40 мальчиков 4–18 лет, страдающих СД1, по данным которого диагностировали ДДПН у 24 (60%) пациентов. Авторы выявили достоверные отрицательные корреляции между уровнем гликированного гемоглобина (HbA_{1C}) и скоростью проведения импульса по малоберцовому нерву ($r = -0,61$, $P = 0,0001$), между длительностью СД1 и скоростью проведения импульса по большеберцовому ($r = -0,55$, $P = 0,0001$) и икроножному ($r = -0,33$, $P = 0,037$) нервам. В работе отмечено, что у 3 детей, страдающих СД1, электрофизиологическое исследование не выявило нарушений, однако эти дети имели клинические проявления ДДПН. Авторы пояснили, что при помощи стандартной ЭНМГ можно регистрировать параметры проведения только на крупных миелинизированных нервах, а при СД на начальных этапах ДДПН первыми поражаются тонкие нервные волокна [38]. Однако обнаружить классические клинические симптомы ДДПН у детей, страдающих СД1, удается далеко не всегда [39–41], и в таких случаях ЭНМГ играет значительную роль в диагностике ДДПН [42, 43].

Однако ЭНМГ имеет ряд субъективных особенностей: операторзависимость (правильная установка электродов во многом зависит от навыков врача); необходимость учитывать высокий индивидуальный порог при оценке отдельных параметров, в частности, амплитуды; наличие выраженной подкожной клетчатки увеличивает сопротивление и затрудняет поиск нерва, а отеки в зоне исследования усложняют получение М-ответа, регистрация которого необходима для исследования моторных волокон; зависимость от температуры тела обследуемого (при снижении температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость распространения возбуждения изменяется на $2,0\text{--}2,4\text{ м/с}$) [37]. Также необходимо отметить, что наличие кардиостимулятора, склонность к кровоточивости (при проведении игольчатой ЭНМГ), эписиндром, эпилепсия, любые острые состояния могут ограничивать возможность проведения ЭНМГ [44, 45].

В клинической практике выполнение ЭНМГ у детей младшей возрастной группы не всегда представляется возможным ввиду болезненности процедуры, неадекватной реакции ребенка на медицинские мани-

пуляции в целом и на болевое воздействие (например, игольчатая ЭНМГ) [44]. В этом случае ультразвуковой метод является достаточно информативным и безболезненным для динамического визуального наблюдения за состоянием нервного ствола [23]. Но даже при наличии клинических проявлений ДДПН при проведении ЭНМГ обнаружить патологические изменения удается далеко не всегда, что обусловлено поражением нервов малого калибра, диагностика нарушения функции которых не всегда доступна для данного метода исследования [31]. Л.А. Руюткина и соавт. (2016) [37] в работе, посвященной ЭНМГ в диагностике ранних стадий ДДПН, приводят клинический случай, который отражает несоответствие клинической симптоматики у пациентки 31 года (в виде чувства онемения в обеих стопах, трофической язвы на правой стопе) и неврологического осмотра (выявившего отсутствие ахилловых рефлексов, нарушения чувствительности по полиневритическому типу, покачивания в позе Ромберга) с данными электрофизиологического исследования, по результатам которого скорость распространения возбуждения по моторным волокнам периферических нервов нижних конечностей оказалась в пределах нормы. По мнению авторов, такое несоответствие связано с тем, что ЭНМГ оценивает преимущественно состояние толстых нервных волокон, тогда как в случае поражения тонких нервных волокон стандартное исследование может не выявить отклонений от нормы. Поэтому ориентация только на данные электрофизиологического исследования и, как следствие, оценка только функционального аспекта поражения периферических нервов ограничивают врачебную тактику [37].

Применение рентгеновской диагностики для исследования периферических нервов конечностей ограничено техническими возможностями методики и анатомическими особенностями строения нервов [46]. Как правило, рентгенография конечностей назначается для исключения повреждения и заболевания костных структур при предъявлении активных жалоб на боль [47]. При проведении рентгенологического исследования опорно-двигательного аппарата изображение нервных стволов получить не удастся.

Метод компьютерной томографии имеет высокую диагностическую ценность при изучении патологии центральной нервной системы, однако не позволяет оценить состояние периферической нервной системы, так как непосредственно ткань нервного ствола на протяжении не определяется [48, 49].

Магнитно-резонансная томография – высокоинформативный визуализирующий метод, позволяющий оценить состояние периферической нервной системы, имеющий ряд преимуществ, таких как высокая разрешающая способность в исследовании мягких тканей, возможность многоплоскостного исследования, неинвазивность и отсутствие ионизирующего излучения [50–52]. В то же время серьезными ограничениями метода являются наличие металлических конструкций в теле пациента после операций металлоостеосинтеза, клаустрофобия, у пациентов младшей возрастной группы в большинстве случаев проведение магнитно-резонансной томографии требует применения общего наркоза. Также возможности магнитно-резонансной томографии оказываются сильно ограниченными большой протяженностью периферического нерва, косым расположением нерва в конечностях, что не позволяет выявить весь нервный ствол на протяжении [53]. Доступные публикации по изучению состояния периферических нервов при помощи магнитно-резонансной томографии в основном посвящены визуальной оценке качественных изменений при ДДПН [53–57]. И лишь некоторые авторы, например, S. Tesfaye et al. (2016) [58], оценивали количественные изменения, такие как увеличение площади поперечного сечения (ППС) спинного мозга. Спинной мозг – достаточно крупная структура, размеры которой оценить не представляет сложности. Иначе обстоит дело с нервными стволами небольших размеров. M. Pham et al. (2015) [54] указали на невозможность идентификации при магнитно-резонансной томографии мелких нервов нижних конечностей, таких как поверхностная ветвь общего малоберцового нерва.

Однако Y. Zheng et al. (2013) [59] в своей работе по исследованию возможностей высокоразрешающего ультразвукового исследования для оценки изменений нервных

окончаний смогли подробно описать ультразвуковые изменения медиальной ветви глубокого малоберцового нерва у больных с диабетической стопой как количественные (в виде статистически значимого ($P < 0,05$) увеличения диаметра нервного ствола у больных с диагностированной диабетической стопой – у здоровых пациентов $0,8 \pm 0,2$ мм ($M \pm \sigma$), у пациентов основной группы $1,3 \pm 0,3$ мм), так и качественные (нечеткий, неровный контур, повышение эхогенности, отсутствие гипоэхогенных полос в продольной проекции, затрудненная идентификация нерва в поперечной проекции).

В свою очередь, F. Liu et al. (2012) [60] с помощью высокочастотного линейного датчика (22 МГц) исследовали изменения икроножного нерва при СД2 с ДДПН и без нее у пациентов старше 59 лет и выявили достоверные различия по толщине ($P = 0,024$) и ППС ($P < 0,001$) между группами контрольной и СД2 без ДДПН, контрольной и СД2 с ДДПН, СД2 без ДДПН и СД2 с ДДПН. Также авторы определили оптимальные пороговые значения толщины (0,365 мм при AUC 0,918, чувствительности 90,3%, специфичности 87,7%) и ППС (1,685 мм² при AUC 0,755, чувствительности 64,5%, специфичности 82,2%) для диагностики ДДПН [60].

Для объяснения таких изменений ультразвуковой картины периферических нервов, как увеличение ППС, следует подробно рассмотреть патогенез развития ДДПН. На сегодняшний день не существует единой концепции патогенеза ДДПН. Рассматриваются несколько теорий, объясняющих причины и механизмы развития ДДПН, в основе которых лежат как сосудистые, так и метаболические нарушения, приводящие к демиелинизации и дегенерации нервных волокон. Т.А. Христофору, М.Ф. Логачев (2011) [6] показали, что в основе метаболической теории лежит гипергликемия, которая активирует полиоловый путь обмена глюкозы с повышенным накоплением в нервах продуктов этого обмена – сорбитола и фруктозы. В норме превращение глюкозы в сорбитол составляет всего лишь до 1% содержания клеточной глюкозы. При нарушении обмена глюкозы, которое наблюдается при гипергликемии, переход ее в сорбитол возрастает до 7–8%. Под

влиянием ключевого фермента сорбитолового пути альдозоредуктазы нефосфорилированная глюкоза конвертируется в сорбитол, а он под влиянием сорбитолдегидрогеназы – во фруктозу. Эти ферменты локализуются в цитоплазме и присутствуют в некоторых тканях, включая периферические нервы. Конечные продукты обмена глюкозы по сорбитоловому пути (фруктоза и сорбитол) плохо проникают через клеточную мембрану, а далее накапливаются внутри клетки, приводя к внутриклеточной гиперосмолярности, способствующей отеку и набуханию миелина. Именно с повышением содержания сорбитола в телах нейронов, шванновских клетках, эндотелии и нервных отростках связывают основное повреждающее воздействие хронической гипергликемии. Сорбитол, являясь шестиатомным спиртом, накапливается в клетке и вызывает нарушение осмотического гомеостаза с последующим ее повреждением [24, 61]. Кроме того, интрацеллюлярная гипергликемия снижает активность сорбитолдегидрогеназы. Клиническое применение эта теория находит в использовании ингибиторов альдозоредуктазы, которые показали свою эффективность в лечении ДДПН [62].

По данным D. Lee, D.M. Dauphinee (2005) [63], основными метаболическими факторами развития ДДПН являются гипергликемия, ее вариабельность, окислительный стресс, неферментативное гликирование белков и системное воспаление с повышением С-реактивного белка и противовоспалительных цитокинов, что провоцирует нарушение эндоневрального кровотока и цитотоксический эффект конечных продуктов гликирования и в конечном счете приводит к эндоневральному отеку. Авторы предположили, что повышенный уровень сорбитола, наблюдаемый при СД, провоцирует увеличение внутриклеточной гидратации, что впоследствии приводит к отеку нервных волокон. Это в свою очередь может привести к компрессии большеберцового нерва в тарзальном канале. Избыточное накопление сорбитола в периферических нервах вызывает снижение содержания миоинозитола, необходимого для синтеза фосфатидилинозитола, нарушение деятельности ионного насоса, накопление внутриклеточного натрия, что еще больше повышает

внутриклеточную осмолярность. Все это приводит к дегенерации нервных волокон, демиелинизации и повреждению аксонов [63].

А. Kerasnoudis (2013) [64] также связывал увеличение размеров большеберцового нерва у больных СД2 с наличием у них аксонального поражения, в течение которого иммунной системой запускается продукция провоспалительных цитокинов, воздействующих на шванновские клетки, что приводит к отеку нервной ткани и увеличению ППС нервного ствола.

И.Ю. Демидова и соавт. (2008) [18] подвергли сомнению концепцию снижения уровня миоинозитола как возможного патогенетического пути развития ДДПН и приводят данные об изучении биоптатов икроножных нервов, по которым не было выявлено корреляции между уровнем миоинозитола и степенью нарушения углеводного обмена. Авторы указали, что временной патогенез ДДПН может быть условно разделен на функциональные и анатомические нарушения. Функциональные изменения развиваются на ранних стадиях нейропатии и полностью или частично обратимы на фоне стабильного гликемического контроля и/или терапевтических средств. Анатомические или структурные изменения развиваются позже, и их обратное развитие уже невозможно [18].

Как уже было сказано, в развитии ДДПН важную роль играет состояние компенсации углеводного обмена у детей и подростков. Показателем его является HbA_{1C} . Определение уровня HbA_{1C} – исследование, необходимое для осуществления мониторинга пациентов с СД для оценки эффективности и необходимости коррекции сахароснижающей терапии. Допустимый целевой уровень HbA_{1C} для детей и подростков составляет менее 7,5%, достижение целевого уровня данного параметра наблюдается лишь у 32,2% детей и 25,5% подростков с СД. При этом доля пациентов с выраженной декомпенсацией HbA_{1C} (более 9%) в группе подростков достигает 45%. Худшие показатели HbA_{1C} у подростков могут быть обусловлены объективной сложностью контроля гликемии в период полового созревания. Частота определения уровня HbA_{1C} , необходимая для больных СД, составляет 1 раз в 3 мес [1].

По мере совершенствования ультразвуковых сканеров и методик визуализации периферических нервов ультразвуковые исследования стали распространенным методом диагностики изменений нервных стволов. За последнее десятилетие основная масса работ посвящена ультразвуковому сканированию периферических нервов при их травматическом повреждении [65], ультразвуковой диагностике туннельных нейропатий [66, 67], воспалительных заболеваний нервов [68], наследственных синдромов [69]. К положительным аспектам ультразвукового исследования можно отнести отсутствие: ионизирующего излучения, необходимости предварительной подготовки пациента перед исследованием и проведения общего обезболивания, необходимости продолжительного вынужденного положения больного (как при магнитно-резонансной томографии), болевых ощущений во время исследования (как при ЭНМГ). Все это крайне важно у пациентов дошкольной и младшей школьной возрастных групп [44]. К достоинствам ультразвукового метода надо добавить возможность взаимосвязи врача и больного. При выполнении ультразвукового исследования нервный ствол может быть визуализирован на протяжении [70], возможна оценка внутренней структуры и размеров даже таких мелких нервов, как икроножный [60] и медиальная ветвь глубокого малоберцового нерва [59]. Тогда как при магнитно-резонансной томографии, например, поверхностный малоберцовый нерв недоступен для исследования [54].

Ультразвуковое исследование периферических нервов при СД за рубежом широко используется для диагностики ДДПН у взрослых пациентов, чему посвящено множество публикаций [23, 25–27, 30, 31, 33–35]. В России же аналогичное исследование на сегодняшний день применяется лишь в единичных клиниках. Однако при вводе ключевых слов “peripheral nerve ultrasound, children, type 1 diabetes mellitus” (MeSH Terms) в строке поиска на ресурсах Pubmed и Cochrane найдены крайне малочисленные публикации, посвященные ультразвуковому исследованию периферических нервов у детей с СД1. Это касается не периферических нервов верхних и нижних конечно-

стей, а зрительного нерва в аспекте диагностики отека головного мозга [71].

Иностранцы авторы при эхографии периферических нервов у взрослых больных СД ориентируются на показатели ППС нервных стволов, которые превышают нормативные у лиц с СД и у лиц с СД и ДДПН. Так, A. Breiner et al. (2014) [23] сообщили, что значения ППС локтевого, срединного, большеберцового и общего малоберцового нервов статистически значимо больше у лиц с СД, независимо от его типа, чем у здоровых добровольцев. Кроме того, у лиц с СД, осложненным ДДПН, значения ППС статистически значимо больше, чем у больных СД, не сопровождающимся ДДПН. Причем увеличение ППС указанных нервов при СД происходит до появления симптомов ДДПН. Более того, при измерении ППС локтевого и большеберцового нервов в группе больных СД2 значения ППС были достоверно больше, чем в группе больных СД1 [23].

По данным L.N. Kim et al. (2014) [31], ультразвуковое исследование срединного нерва у больных СД2 показало, что значения ППС срединного нерва на всех уровнях измерения больше ($P < 0,05$) у больных СД, осложненным ДДПН, чем у здоровых добровольцев. Авторы отмечают, что с точки зрения патофизиологии увеличение ППС срединного нерва, приводящее к развитию синдрома карпального канала у больных СД2, связано с эндоневральным отеком [31].

A. Nassan et al. (2015) [30] при исследовании срединного нерва на уровне гороховидной кости у пациентов, страдающих СД2, осложненным ДДПН, не было выявлено достоверных различий по ППС между группой пациентов с клиническими проявлениями синдрома карпального канала и без таковых (16 (8–34) (медиана, минимальное–максимальное значения) против 13 (9–24) мм², $P = 0,35$). При этом пороговое значение ППС срединного нерва (аналогичный уровень измерения) для диагностики синдрома карпального канала – 11 мм² (AUC 0,890) [72]. Это свидетельствует в пользу увеличения размеров периферических нервов у большинства пациентов с ДДПН даже без синдрома карпального канала. Однако группы пациентов в работе [30] были крайне малочисленны (по 8 человек в каждой), что указывает на необходи-

мость продолжения работы в этом направлении.

А. Kerasnoudis (2013) [64] указал на статистически значимое ($P < 0,001$) увеличение размеров большеберцового нерва на уровне медиальной лодыжки у больных СД2.

Ф. Ishibashi et al. (2015) [73] получили результаты ультразвукового исследования срединного и большеберцового нервов в виде достоверного (P от 0,05 до 0,001) увеличения ППС у пациентов с СД без ДДПН по сравнению с контрольной группой, а также достоверной положительной корреляции между размерами срединного и большеберцового нервов и тяжестью ДДПН ($r = 0,481$, $P < 0,0001$ и $r = 0,427$, $P < 0,0001$).

К. Singh et al. (2017) [74] нашли статистически значимое ($P < 0,001$) увеличение размеров большеберцового нерва на уровне 3 см проксимальнее верхнего края медиальной лодыжки у больных СД без ДДПН по сравнению с контрольной группой и у больных СД с ДДПН по сравнению со здоровыми и больными СД без ДДПН. Авторы пришли к выводу, что изменения ППС большеберцового нерва могут быть выявлены еще до начала ДДПН [74].

К аналогичным выводам пришли S. Riazi et al. (2012) [25], измерявшие ППС большеберцового нерва на трех уровнях: на 1, 3 и 5 см проксимальнее медиальной лодыжки и получившие оптимальное пороговое значение $19,01 \text{ м}^2$ для диагностики ДДПН в точке, соответствующей именно 3 см выше медиальной лодыжки (чувствительность – 69%, специфичность – 77%, AUC – 0,77).

Согласно исследованию D. Lee, D.M. Dauphinee (2005) [63], ППС большеберцового нерва была достоверно ($P < 0,001$) больше у больных СД2 с ДДПН (первая группа), чем у пациентов без СД2 (контрольная группа) и СД2 без ДДПН (вторая группа). Среднее значение ППС большеберцового нерва, измеренное на дистальном уровне (перед входом в тарзальный канал), у пациентов первой группы – 24 мм^2 , контрольной и второй групп – 12 мм^2 (другие статистические параметры в статье не приводятся) [63].

В некоторых работах выявлены не только корреляции между ППС нерва и данными электрофизиологического обследования, ППС нерва и тяжестью ДДПН, но и

другие связи перечисленных показателей. Например, S. Kang et al. (2016) [33] нашли достоверные корреляции между ППС икроножного ($r = -0,510$, $P < 0,022$), срединного ($r = -0,566$, $P < 0,014$) и большеберцового ($r = -0,474$, $P < 0,040$) нервов и скоростью проведения импульса по нерву, а также между ППС икроножного нерва и $\text{HbA}_{1\text{C}}$ ($r = 0,494$, $P < 0,027$).

К. Singh et al. (2017) [74] также нашли достоверную корреляцию между ППС большеберцового нерва и $\text{HbA}_{1\text{C}}$ ($r = 0,683$, $P < 0,0001$) для группы больных СД2 с ДДПН ($n = 75$).

Однако Т. Watanabe et al. (2010) [34], изучавшие роль ультразвукового исследования при ДДПН, не выявили значимых связей между уровнем $\text{HbA}_{1\text{C}}$ и ППС периферических нервов.

L.D. Hobson-Webb et al. (2013) [35], занимавшиеся изучением ультразвуковых изменений малоберцового и икроножного нервов при ДДПН, не выявили корреляции между длительностью СД и значениями ППС нервов.

В. Kelle et al. (2016) [75] не нашли корреляции между ППС седалищного, большеберцового и срединного нервов и длительностью СД2, уровнем $\text{HbA}_{1\text{C}}$ и тяжестью клинических симптомов, хотя описали, что повышение эхогенности нервного волокна наблюдается в тяжелых случаях невропатий. Согласно их выводам, ультразвуковые исследования как технически простой метод помогают диагностировать ДДПН, но не отражают степень тяжести нейропатии [75].

Если говорить о качественных изменениях, то некоторые авторы отмечают, что результаты гистологического исследования нервов при ДДПН соответствуют наличию ультразвуковых находок, таких как увеличение ППС нерва, повышение процента гиперэхогенных зон, неровная поверхность, нечеткие границы нервного волокна [30, 31, 34, 35, 64, 76]. Приведенная противоречивость данных литературы является актуальной проблемой и требует продолжения исследований в данном направлении.

При этом необходимо учитывать описанные в литературе определенные ограничения ультразвукового исследования нервов, такие как затруднение визуализации нервов, когда они расположены глубоко, окружены жиром или расположены внутри

гипотрофированной мышцы. Из-за акустической тени от кости они и вовсе могут не определяться (например, дистальная часть плечевого сплетения) [77].

В настоящее время при проведении ультразвукового исследования наряду с традиционным серошкальным изображением анатомических структур можно оценить жесткость органов и тканей, применяя компрессионную эластографию (качественную) и эластографию сдвиговой волной (количественную). Последняя позволяет получить цифровые значения жесткости (скорость сдвиговой волны или модуль Юнга) и подразделяется на точечную, двумерную и трехмерную эластографию сдвиговой волной [78].

В нашей стране ультразвуковая эластография сдвиговой волной широко применяется для оценки состояния печени [79, 80], молочных [81], щитовидной [82], паращитовидной [83], предстательной [84, 85] желез, яичка [86], в гинекологии [87], травматологии [88], педиатрии [89]. Продолжающиеся многочисленные публикации [90–92] отражают большой интерес к данному методу в мире.

Надо отметить, что в 2015 г. Европейской федерацией ассоциаций ультразвука в медицине и биологии (EFSUMB) были приняты Практические рекомендации по ультразвуковой эластографии [93], которые позднее пересмотрены [94, 95]. Если в Практических рекомендациях EFSUMB 2015 г. [93] не было даже упоминания эластографии нервов, то в Практических рекомендациях 2019 г. [94] уже есть целый подраздел, посвященный этой проблеме, который вылился в детальную рекомендацию о возможности использования ультразвуковой эластографии для диагностики и оценки динамики карпального туннельного синдрома, а также ДДПН. Причем рассматриваются варианты использования как компрессионной эластографии, так и эластографии сдвиговой волной [94].

Тема ультразвуковой эластографии периферических нервов представлена в немногочисленных публикациях, посвященных диагностике карпального туннельного синдрома [96], оценке эффективности нейродинамической терапии у больных ишиасом [97], СД с ДДПН и без нее [98–103]. Например, F. Ishibashi et al. (2016) [102] ис-

пользовали ультразвуковую компрессионную эластографию для определения коэффициента жесткости (коэффициента деформации) большеберцовых нервов (первая зона интереса располагалась в области нерва на 3 см проксимальнее медиальной лодыжки, вторая зона интереса – на стандартном материале над первой зоной интереса) у 198 пациентов с СД2, осложненным ДДПН, которые составили основную группу, и 29 здоровых добровольцев (контрольная группа). Группы соответствовали друг другу по возрасту и полу. Группа с СД2 была разделена на 4 подгруппы соответственно стадии ДДПН (I, II, III, IV+V). Коэффициент жесткости оказался достоверно выше у здоровых лиц ($0,760 \pm 0,0235$) ($M \pm m$). Кроме того, коэффициент жесткости достоверно снижался с тяжестью ДДПН (I стадия ($0,655 \pm 0,0146$) достоверно ниже по сравнению с контрольной группой при $P < 0,001$; II стадия ($0,542 \pm 0,0144$) достоверно ниже по сравнению с I стадией при $P < 0,001$; III стадия ($0,475 \pm 0,0193$) достоверно ниже по сравнению со II стадией при $P < 0,05$). Пороговое значение коэффициента жесткости большеберцового нерва, свидетельствующее о наличии ДДПН, – $0,558$ (чувствительность – 86% , специфичность – 70%). Пороговое значение ППС большеберцового нерва, свидетельствующее о ДДПН, – $6,48$ мм² (чувствительность – 62% , специфичность – 57%). Авторы отмечают, что AUC для коэффициента жесткости ($0,829$) в диагностике ДДПН была достоверно выше AUC для ППС ($0,612$) при $P < 0,0001$ [102].

A.S. Dikici et al. (2017) [101] использовали двумерную эластографию сдвиговой волной для определения жесткости большеберцовых нервов у пациентов с СД2, осложненным ДДПН ($n = 20$), у пациентов с СД2, не осложненным ДДПН ($n = 20$), и у здоровых добровольцев ($n = 20$). Большеберцовый нерв исследовали на расстоянии 4 см проксимальнее медиальной лодыжки. Значения модуля Юнга нервов у пациентов с СД2 и ДДПН были достоверно выше, чем у пациентов с СД2 без ДДПН и здоровых добровольцев ($P < 0,001$ для всех сравнений) (правый большеберцовый нерв – $79,5 \pm 25,7$ ($M \pm \sigma$), $45,6 \pm 16,2$ и $30,3 \pm 7,6$ кПа, левый большеберцовый нерв – $77,0 \pm 25,3$, $36,2 \pm 11,5$ и $31,3 \pm 11,6$ кПа соответственно). Кроме того, между пациентами с СД2

без ДДПН и контрольной группой была обнаружена достоверная разница в значениях модуля Юнга правого большеберцового нерва ($P < 0,001$). Это объясняет тот факт, что в группе СД2 без ДДПН определялась достоверная разница между жесткостью правого и левого большеберцового нервов ($P = 0,004$). Пороговое значение 51,0 кПа для диагностики ДДПН имело чувствительность 90% и специфичность 85%. Интересно, что и в данной работе также была подтверждена более высокая информативность жесткости в диагностике ДДПН по сравнению с рутинным определением ППС большеберцового нерва (AUC – 0,941 и 0,722 соответственно). Пороговое значение ППС большеберцового нерва для диагностики ДДПН – 0,1575 см² при чувствительности 60% и специфичности 75% [101].

Y. He et al. (2019) [98] определяли жесткость большеберцового и срединного нервов у 40 пациентов с СД2 и ДДПН, 40 пациентов с СД2 без ДДПН и 40 здоровых добровольцев с помощью двумерной эластографии сдвиговой волной. Большеберцовый нерв исследовали на 3 см выше медиальной лодыжки, срединный нерв – в средней трети предплечья. Авторы показали, что независимо от стороны тела у пациентов с ДДПН значения скорости сдвиговой волны были достоверно выше по сравнению с контрольной группой и пациентами с СД2 без ДДПН как при исследовании большеберцового нерва (левая сторона – $4,48 \pm 0,59$ (M \pm σ), $3,67 \pm 0,47$ и $3,70 \pm 0,49$ м/с, правая сторона – $4,63 \pm 0,54$, $3,64 \pm 0,49$ и $3,71 \pm 0,52$ м/с соответственно), так и срединного (левая сторона – $4,41 \pm 0,76$, $3,51 \pm 0,57$ и $3,54 \pm 0,60$ м/с, правая сторона – $4,40 \pm 0,62$, $3,54 \pm 0,52$ и $3,57 \pm 0,55$ м/с соответственно). Пороговые значения скорости сдвиговой волны большеберцового и срединного нерва для диагностики ДДПН составили 4,11 и 4,06 м/с при чувствительности 81,3 и 80,0% и специфичности 88,7 и 85,0% соответственно. Интересно, что и в этой работе была продемонстрирована более высокая информативность показателя жесткости в диагностике ДДПН по сравнению с ППС (AUC скорости сдвиговой волны срединного и большеберцового нервов (0,927 и 0,899) достоверно выше AUC ППС большеберцового нерва (0,798) при $P < 0,05$) [98].

Наконец, M. Wei et al. (2019) [103] исследовали жесткость большеберцового нерва у пациентов с СД2 с ДДПН ($n = 14$), СД2 без ДДПН ($n = 13$) и здоровых добровольцев ($n = 20$) с помощью точечной эластографии сдвиговой волной. Достоверные различия между значениями скорости сдвиговой волны, полученными с двух сторон, не определялись. Однако были получены достоверные различия скорости сдвиговой волны большеберцового нерва при сравнении с контрольной группой всех пациентов с СД2, пациентов с СД2 с ДДПН и пациентов с СД2 без ДДПН (P от 0,001 до 0,002). Интересно, что достоверные различия между значениями скорости сдвиговой волны у пациентов с СД2 с наличием и отсутствием ДДПН не получены. Тогда как различия значений ППС большеберцового нерва при проведении аналогичных сравнений не получены ни при сравнении правой, ни при сравнении левой стороны. Пороговое значение скорости сдвиговой волны 2,60 см/с в диагностике ДДПН характеризуется чувствительностью 63,33%, специфичностью 92,50%, AUC 0,836 [103].

Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в оценке состояния периферических нервов при ДДПН в настоящее время находится на начальных этапах своего развития. В систематическом литературном обзоре, посвященном ультразвуковой эластографии при ДДПН, отмечено, что метод требует стандартизации и не может использоваться в качестве самостоятельного диагностического теста [104].

Ранняя диагностика ДДПН позволяет подобрать адекватную патогенетическую терапию и, соответственно, улучшить качество жизни больных этой категории. В настоящее время нет универсального метода раннего выявления ДДПН, поэтому в алгоритм диагностики целесообразно включать такие визуализирующие методы, как ультразвуковое исследование. Это требует формулировки показаний для его проведения при СД как у взрослых, так и у детей. Применение ультразвукового исследования для выявления изменений периферических нервов при СД1 у детей остается весьма ограниченным. Поэтому необходимость продолжения исследований в этой области является крайне актуальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клинические рекомендации “Сахарный диабет 1 типа у детей”. 2018. http://cr.rosminzdrav.ru/schema/287_1 (дата обращения 20.11.2020)
2. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 9th ed. Brussels, Belgium: 2019. <http://www.diabetesatlas.org> (дата обращения 20.11.2020)
3. Дедов И.И., Шестакова М.В., Петеркова В.А., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А., Лаптев Д.Н., Андрианова Е.А., Ширяева Т.Ю. Сахарный диабет у детей и подростков по данным Федерального регистра Российской Федерации: динамика основных эпидемиологических характеристик за 2013–2016 гг. *Сахарный диабет*. 2017; 20 (6): 392–402. <https://doi.org/10.14341/DM9460>
4. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. Эпидемиология сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным Федерального регистра сахарного диабета. *Сахарный диабет*. 2017; 20 (1): 13–41. <https://doi.org/10.14341/DM8664>
5. Политова Е.А., Логачев М.Ф., Заваденко Н.Н. Диабетическая периферическая полинейропатия (обзор литературы). *Детская больница*. 2012; 3: 54–59.
6. Millere E., Gribuste L., Kazaine I., Strautmanis J., Gailite L., Kenina V. Clinical and neurophysiological spectrum of polyneuropathies in children. *Neurol. Neurochir. Pol.* 2020; 54 (5): 466–470. <https://doi.org/10.5603/pjnns.a2020.0068>
7. Христофору Т.А. Высокочастотная электроимпульсная терапия в профилактике и лечении дистальной периферической полинейропатии у детей и подростков с сахарным диабетом тип 1: Дис. ... канд. мед. наук. Москва: РНИМУ им. Н.И. Пирогова, 2012.
8. Христофору Т.А., Логачев М.Ф. Современные представления о диабетической периферической полинейропатии у детей и подростков: клинико-патогенетические и диагностические аспекты, возможности лечения. *Детская больница*. 2011; 1: 49–53.
9. Котов А.С., Елисеев Ю.В. Современные представления о лечении диабетической полинейропатии. *Эффективная фармакотерапия. Эндокринология*. 2012; 5: 58–60.
10. Садикова Г.К., Абдувалиева М.А. Особенности неврологических осложнений у детей с сахарным диабетом 1-го типа. *Молодой ученый*. 2017; 16 (150): 13–15.
11. Котов А.С., Елисеев Ю.В. Диабетическая полиневропатия и синдром диабетической стопы. *Эффективная фармакотерапия. Эндокринология*. 2013; 48: 32–39.
12. Nelson D., Mah J.K., Adams C., Hui S., Crawford S., Darwish H., Stephure D., Pacaud D. Comparison of conventional and non-invasive techniques for the early identification of diabetic neuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes. *Pediatr. Diabetes*. 2006; 7 (6): 305–310. <https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2006.00208.x>
13. Nordwall M., Hyllienmark L., Ludvigsson J. Early diabetic complications in a population of young patients with type 1 diabetes mellitus despite intensive treatment. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.* 2006; 19 (1): 45–54. <https://doi.org/10.1515/jpem.2006.19.1.45>
14. Дедов И.И., Кураева Т.Л., Петеркова В.А. Сахарный диабет у детей и подростков: руководство. Изд. 2-е. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 272 с.
15. Pocket guide to the management of diabetes in children and adolescents in countries with disabilities resources. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2009. <https://www.idf.org/e-library/guidelines/89-pocketbook-for-management-of-diabetes-in-childhood-and-adolescence-in-under-resourced-countries-2nd-edition.html> (дата обращения 20.11.2020)
16. Armstrong D.G., Lavery L.A., Vela S.A., Quebedeaux T.L., Fleischli J.G. Choosing a practical screening instrument to identify patients at risk for diabetic foot ulceration. *Arch. Intern. Med.* 1998; 158 (3): 289–292. <https://doi.org/10.1001/archinte.158.3.289>
17. Martina I.S., van Koningsveld R., Schmitz P.I., van der Meche F.G., van Doorn P.A. Measuring vibration threshold with a graduated tuning fork in normal aging and in patients with polyneuropathy. European Inflammatory Neuropathy Cause and Treatment (INCAT) group. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 1998; 65 (5): 743–747. <https://doi.org/10.1136/jnnp.65.5.743>
18. Демидова И.Ю., Храмылин В.Н., Игнатова О.Ю. Диабетическая дистальная полинейропатия. *Эндокринная хирургия*. 2008; 1: 29–39.
19. Boulton A.J., Vinik A.I., Arezzo J.C., Bril V., Feldman E.L., Freeman R., Malik R.A., Maser R.E., Sosenko J.M., Ziegler D.; American Diabetes Association. Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2005; 28 (4): 956–962. <https://doi.org/10.2337/diacare.28.4.956>
20. Casellini C.M., Vinik A.I. Clinical manifestations and current treatment options for diabetic neuropathies. *Endocr. Pract.* 2007; 13 (5): 550–566. <https://doi.org/10.4158/ep.13.5.550>
21. Paisley A., Abbott C., van Schie C., Boulton A. A comparison of the Neuropen against standard quantitative sensory-threshold measures for assessing peripheral nerve function. *Diabet. Med.* 2002; 19 (5): 400–405. <https://doi.org/10.1046/j.1464-5491.2002.00706.x>
22. Клинические рекомендации “Сахарный диабет 2 типа у взрослых”. 2019. http://cr.rosminzdrav.ru/schema/290_1 (дата обращения 20.11.2020)
23. Breiner A., Qrimli M., Ebadi H., Alabdali M., Lovblom L.E., Abraham A., Albulahi H., Perkins B.A., Bril V. Peripheral nerve high-resolution ultrasound in diabetes. *Muscle Nerve*. 2017; 55 (2): 171–178. <https://doi.org/10.1002/mus.25223>
24. Dyck P.J., Albers J.W., Andersen H., Arezzo J.C., Biessels G.J., Bril V., Feldman E.L., Litchy W.J., O’Brien P.C., Russell J.W.; Toronto Expert Panel on Diabetic Neuropathy. Diabetic polyneuropathies: update on research definition, diagnostic criteria and estimation of severity. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2011; 27 (7): 620–628. <https://doi.org/10.1002/dmrr.1226>

25. Riaz S., Bril V., Perkins B.A., Abbas S., Chan V.W., Ngo M., Lovblom L.E., El-Beheiry H., Brull R. Can ultrasound of the tibial nerve detect diabetic peripheral neuropathy? A cross-sectional study. *Diabetes Care*. 2012; 35 (12): 2575–2579. <https://doi.org/10.2337/dc12-0739>
26. Arumugam T., Razali S.N., Vethakkan S.R., Rozalli F.I., Shahrizaila N. Relationship between ultrasonographic nerve morphology and severity of diabetic sensorimotor polyneuropathy. *Eur. J. Neurol*. 2016; 23 (2): 354–360. <https://doi.org/10.1111/ene.12836>
27. Singh K., Gupta K., Kaur S. High resolution ultrasonography of the tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrason*. 2017; 17 (71): 246–252. <https://doi.org/10.15557/jou.2017.0036>
28. Храмылин В.Н., Демидова И.Ю., Староверова И.Н., Игнатова О.Ю. Диабетическая нейропатия: учебное пособие. М.: Видар-М, 2012. 128 с.
29. Consensus statement: Report and recommendations of the San Antonio conference on diabetic neuropathy. American Diabetes Association American Academy of Neurology. *Diabetes Care*. 1988; 11 (7): 592–597. <https://doi.org/10.2337/diacare.11.7.592>
30. Hassan A., Leep Hunderfund A.N., Watson J., Boon A.J., Sorenson E.J. Median nerve ultrasound in diabetic peripheral neuropathy with and without carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve*. 2013; 47 (3): 437–439. <https://doi.org/10.1002/mus.23677>
31. Kim L.N., Kwon H.K., Moon H.I., Pyun S.B., Lee H.J. Sonography of the median nerve in carpal tunnel syndrome with diabetic neuropathy. *Am. J. Phys. Med. Rehabil*. 2014; 93 (10): 897–907. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000000084>
32. Louraki M., Karayianni C., Kanaka-Gantenbein C., Katsaloulis M., Karavanaki K. Peripheral neuropathy in children with type 1 diabetes. *Diabetes Metab*. 2012; 38 (4): 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2012.02.006>
33. Kang S., Kim S.H., Yang S.N., Yoon J.S. Sonographic features of peripheral nerves at multiple sites in patients with diabetic polyneuropathy. *J. Diabetes Complications*. 2016; 30 (3): 518–523. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2015.12.008>
34. Watanabe T., Ito H., Sekine A., Katano Y., Nishimura T., Kato Y., Takeda J., Seishima M., Matsuoka T. Sonographic evaluation of the peripheral nerve in diabetic patients: the relationship between nerve conduction studies, echo intensity, and cross-sectional area. *J. Ultrasound Med*. 2010; 29 (5): 697–708. <https://doi.org/10.7863/jum.2010.29.5.697>
35. Hobson-Webb L.D., Massey J.M., Juel V.C. Nerve ultrasound in diabetic polyneuropathy: correlation with clinical characteristics and electrodiagnostic testing. *Muscle Nerve*. 2013; 47 (3): 379–384. <https://doi.org/10.1002/mus.23625>
36. Фельдман Е., Гризольд В., Рассел Дж., Лешер В. (ред.) *Атлас нервно-мышечных болезней: практическое руководство*. М.: Практическая медицина, 2016. 392 с.
37. Руюткина Л.А., Полторацкая Е.С., Пахомов И.А., Руюткин Д.С., Щепанкевич Л.А., Первуинская М.А. Электронейромиография в диагностике ранних стадий диабетической нейропатии – приглашение к дискуссии эндокринологов, неврологов, электрофизиологов. *Медицинский Совет*. 2016; 10: 156–162. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-10-156-162>
38. Cenesiz F., Tur B.S., Tezic T., Gurer Y. Nerve conduction in children suffering insulin dependent diabetes mellitus. *Indian J. Pediatr*. 2003; 70 (12): 945–951. <https://doi.org/10.1007/bf02723816>
39. Comi G., Canal N., Lozza L., Beccaria L., Meschi F., Vanini R., D’Arcais A.F., Chiumello G. Peripheral nerve abnormalities in newly-diagnosed diabetic children. *Acta Diabetol. Lat*. 1986; 23 (1): 69–75. <https://doi.org/10.1007/bf02581357>
40. Tesfaye S., Stevens L.K., Stephenson J.M., Fuller J.H., Plater M., Ionescu-Tirgoviste C., Nuber A., Pozza G., Ward J.D. Prevalence of diabetic peripheral neuropathy and its relation to glycaemic control and potential risk factors: the EURODIAB IDDM Complications Study. *Diabetologia*. 1996; 39 (11): 1377–1384. <https://doi.org/10.1007/s001250050586>
41. Kaar M.L., Saukkonen A.L., Pitkanen M., Akerblom H.K. Peripheral neuropathy in diabetic children and adolescents. A cross-sectional study. *Acta Paediatr. Scand*. 1983; 72 (3): 373–378. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1983.tb09731.x>
42. Gallai V., Firenze C., Mazzotta G., Del Gatto F. Neuropathy in children and adolescents with diabetes mellitus. *Acta Neurol. Scand*. 1988; 78 (2): 136–140. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1988.tb03634.x>
43. Young R.J., Ewing D.J., Clarke B.F. Nerve function and metabolic control in teenage diabetics. *Diabetes*. 1983; 32 (2): 142–147. <https://doi.org/10.2337/diab.32.2.142>
44. Касапкина Л.Ф., Гильванова О.В. Электромиографические методы исследования в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Игльчатая электромиография. М.: Медика, 2010. 416 с.
45. Bril V. Electrophysiological testing. In: Gries F.A., Cameron N.E., Low P.A., Ziegler D. (eds.) *Textbook of diabetic neuropathy*. Stuttgart: Thieme, 2003. pp. 177–184.
46. Бадалян Л.О., Скворцов И.А. Клиническая электронейромиография: руководство для врачей. М.: Медицина, 2001. 999 с.
47. Doi K., Otsuka K., Okamoto Y., Fujii H., Hattori Y., Baliarsing A.S. Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography. *J. Neurosurg*. 2002; 96 (3. Suppl.): 277–284. <https://doi.org/10.3171/spi.2002.96.3.0277>
48. Салтыкова В.Г., Митькова М.Д. Роль эхографии в исследовании периферических нервов конечностей. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2011; 3: 93–106.
49. Bianchi S. Ultrasound of the peripheral nerves. *Joint Bone Spine*. 2008; 75 (6): 643–639. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2008.07.002>
50. Chien A.J., Jamadar D.A., Jacobson J.A., Hayes C.W., Louis D.S. Sonography and MR imaging of posterior interosseous nerve syn-

- drome with surgical correlation. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 181 (1): 219–221. <https://doi.org/10.2214/ajr.181.1.1810219>
51. Коновалов А.Н., Корниенко В.Н., Пронин И.Н. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии. М.: Видар, 1997. 560 с.
52. Беленков Ю.Н., Терновой С.К., Беличенко О.И. Клиническое применение магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением. М.: Видар, 1996. С. 9–59.
53. Pham M., Oikonomou D., Baumer P., Bierhaus A., Heiland S., Humpert P.M., Nawroth P.P., Bendszus M. Proximal neuropathic lesions in distal symmetric diabetic polyneuropathy: findings of high-resolution magnetic resonance neurography. *Diabetes Care.* 2011; 34 (3): 721–723. <https://doi.org/10.2337/dc10-1491>
54. Pham M., Oikonomou D., Hornung B., Weiler M., Heiland S., Baumer P., Kollmer J., Nawroth P.P., Bendszus M. Magnetic resonance neurography detects diabetic neuropathy early and with proximal predominance. *Ann. Neurol.* 2015; 78 (6): 939–948. <https://doi.org/10.1002/ana.24524>
55. Vaeggemose M., Ringgaard S., Ejskjaer N., Andersen H. Magnetic resonance imaging may be used for early evaluation of diabetic peripheral polyneuropathy. *J. Diabetes Sci. Technol.* 2015; 9 (1): 162–163. <https://doi.org/10.1177/1932296814559303>
56. Wu C., Wang G., Zhao Y., Hao W., Zhao L., Zhang X., Cao J., Wang S., Chen W., Chan Q., Zhao B., Chhabra A. Assessment of tibial and common peroneal nerves in diabetic peripheral neuropathy by diffusion tensor imaging: a case control study. *Eur. J. Radiol.* 2017; 27 (8): 3523–3531. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4698-3>
57. Wang D., Wang C., Duan X., Yang Z., Bai Z., Hu H., Yan L., Shen J. MR T2 value of the tibial nerve can be used as a potential non-invasive and quantitative biomarker for the diagnosis of diabetic peripheral neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2018; 28 (3): 1234–1241. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5043-1>
58. Tesfaye S., Selvarajah D., Gandhi R., Greig M., Shillo P., Fang F., Wilkinson I.D. Diabetic peripheral neuropathy may not be as its name suggests: evidence from magnetic resonance imaging. *Pain.* 2016; 157. Suppl. 1: S72–S80. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000465>
59. Zheng Y., Wang L., Krupka T.M., Wang Z., Lu G., Zhang P., Zuo G., Li P., Ran H., Jian H. The feasibility of using high frequency ultrasound to assess nerve ending neuropathy in patients with diabetic foot. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82 (3): 512–517. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.09.017>
60. Liu F., Zhu J., Wei M., Bao Y., Hu B. Preliminary evaluation of the sural nerve using 22-MHz ultrasound: a new approach for evaluation of diabetic cutaneous neuropathy. *PLoS One.* 2012; 7 (4): e32730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032730>
61. Sugimoto K., Yasujima M., Yagihashi S. Role of advanced glycation end products in diabetic neuropathy. *Curr. Pharm. Des.* 2008; 14 (10): 953–961. <https://doi.org/10.2174/138161208784139774>
62. Grewal A.S., Bhardwaj S., Pandita D., Lather V., Sekhon B.S. Updates on aldose reductase inhibitors for management of diabetic complications and non-diabetic diseases. *Mini Rev. Med. Chem.* 2016; 16 (2): 120–162. <https://doi.org/10.2174/1389557515666150909143737>
63. Lee D., Dauphinee D.M. Morphological and functional changes in the diabetic peripheral nerve: using diagnostic ultrasound and neurosensory testing to select candidates for nerve decompression. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2005; 95 (5): 433–437. <https://doi.org/10.7547/0950433>
64. Kerasnoudis A. Intranerve cross sectional area variability of tibial nerve in diabetic neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82 (9): 1590–1591. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.02.035>
65. Айтемиров Ш.М., Нинель В.Г., Коршунова Г.А., Щаницын И.Н. Высокорастворимая ультразвукография в диагностике и хирургии периферических нервов конечностей (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2015; 77 (3): 116–125.
66. Малецкий Э.Ю. Возможности ультразвукового исследования при диагностике туннельных невропатий верхней конечности. Дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург: СЗГМУ им. Мечникова, 2017.
67. Салтыкова В.Г. Ультразвуковая диагностика состояния периферических нервов (норма, повреждения, заболевания): Дис. ... докт. мед. наук. М.: РМАПО, 2011. 397 с.
68. Дружинин Д.С., Наумова Е.С., Никитин С.С. Ультразвуковая визуализация периферических нервов при мультифокальной моторной нейропатии и хронической воспалительной демиелинизирующей полинейропатии. *Нервно-мышечные болезни.* 2016; 6 (1): 63–73. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2016-6-1-63-73>
69. Наумова Е.С., Дружинин Д.С., Никитин С.С., Курбатов С.А. Спектр сонографических изменений при наследственной моторно-сенсорной нейропатии с аутосомно-доминантным и X-сцепленным наследованием. *Нервно-мышечные болезни.* 2016; 6 (2): 27–34. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2016-6-2-27-34>
70. Peer S., Bodner G. (eds.) *High resolution sonography of the peripheral nervous system: general considerations and technical concept.* 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. 208 p.
71. Jeziorny K., Niwald A., Moll A., Piasecka K., Pyziak-Skupien A., Waszczykowska A., Baranska D., Malachowska B., Szadkowska A., Mlynarski W., Zmyslowska A. Measurement of corneal thickness, optic nerve sheath diameter and retinal nerve fiber layer as potential new non-invasive methods in assessing a risk of cerebral edema in type 1 diabetes in children. *Acta Diabetol.* 2018; 55 (12): 1295–1301. <https://doi.org/10.1007/s00592-018-1242-8>
72. Hunderfund A.N., Boon A.J., Mandrekar J.N., Sorenson E.J. Sonography in carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.* 2011; 44 (4): 485–491. <https://doi.org/10.1002/mus.22075>
73. Ishibashi F., Taniguchi M., Kojima R., Kawasaki A., Kosaka A., Uetake H. Morphological changes of the peripheral nerves evaluated by high-resolution ultrasonography are associated with the severity of diabetic neuropathy, but not corneal nerve fiber

- pathology in patients with type 2 diabetes. *J. Diabetes Investig.* 2015; 6 (3): 334–342. <https://doi.org/10.1111/jdi.12299>
74. Singh K., Gupta K., Kaur S. High resolution ultrasonography of the tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrason.* 2017; 17 (71): 246–252. <https://doi.org/10.15557/jou.2017.0036>
75. Kelle B., Evran M., Balli T., Yavuz F. Diabetic peripheral neuropathy: correlation between nerve cross-sectional area on ultrasound and clinical features. *J. Back Musculoskelet. Rehabil.* 2016; 29 (4): 717–722. <https://doi.org/10.3233/bmr-160676>
76. Moon H.I., Kwon H.K., Kim L., Lee H.J., Lee H.J. Ultrasonography of palm to elbow segment of median nerve in different degrees of diabetic polyneuropathy. *Clin. Neurophysiol.* 2014; 125 (4): 844–848. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.10.041>
77. Beekman R., Visser L.H. High-resolution sonography of the peripheral nervous system – a review of the literature. *Eur. J. Neurol.* 2004; 11 (5): 305–314. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2004.00773.x>
78. Митьков В.В., Митькова М.Д. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2015; 2: 94–108.
79. Катрич А.Н., Охотина А.В., Шамахян К.А., Рябин Н.С. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в диагностике стадии фиброза печени. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2017; 3: 10–21.
80. Камалов Ю.Р., Хуторной И.В., Крыжановская Е.Ю., Филин А.В., Морозова М.М. Точечная эластография сдвиговой волной (ARFI-эластометрия) при хронических диффузных заболеваниях печени невирусной этиологии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 4: 33–45.
81. Митьков В.В., Чубарова К.А., Заболотская Н.В., Митькова М.Д., Яурова Н.В. Эластография сдвиговой волной в мультипараметрической ультразвуковой диагностике злокачественных опухолей молочной железы различных размеров. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2015; 2: 9–18.
82. Катрич А.Н., Охотина А.В., Шамахян К.А., Рябин Н.С. Сравнительный анализ жесткости очаговых образований щитовидной железы с помощью точечной эластографии сдвиговой волной. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2016; 6: 22–30.
83. Полухина Е.В., Глазун Л.О. Возможности качественной и количественной эластографии в оценке паращитовидных желез при вторичном гиперпаратиреозе (предварительные результаты). *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 4: 89–109.
84. Кадрев А.В., Митькова М.Д., Камалов Д.М., Данилова Н.В., Камалов А.А., Митьков В.В. Прицельная эластометрия (эластография сдвиговой волной) в диагностике рака предстательной железы (предварительные результаты). *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2019; 1: 17–29. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2019-1-17-29>
85. Кадрев А.В., Митькова М.Д., Камалов А.А., Митьков В.В. Эластография сдвиговой волной в оценке местного распространения рака предстательной железы. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2019; 1: 30–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2019-1-30-44>
86. Митьков В.В., Гогаева И.М., Митькова М.Д., Колесников Г.П., Васильева А.К., Кадрев А.В., Рязанцев А.А. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в характеристике рака яичка. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2017; 5: 13–23.
87. Приходько А.М., Баев О.Р., Луньков С.С., Еремина О.В., Гус А.И. Оценка матки с помощью компрессионной эластографии после самопроизвольных родов и операции кесарева сечения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 4: 65–76.
88. Салтыкова В.Г., Бурмакова Г.М., Митьков В.В. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в диагностике кальцифицирующего тендинита плечевого сустава. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2013; 6: 78–92.
89. Пыков М.И., Кузьмина Н.Е., Кинзерский А.Ю., Сорокин Д.В. Эластография сдвиговой волной при хронических заболеваниях печени: изучение показателей жесткости у детей. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 1: 32–42.
90. Liao J., Yang H., Yu J., Liang X., Chen Z. Progress in the application of ultrasound elastography for brain diseases. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (11): 2093–2104. <https://doi.org/10.1002/jum.15317>
91. Cotoi L., Amzar D., Sporea I., Borlea A., Navolan D., Varcus F., Stoian D. Shear wave elastography versus strain elastography in diagnosing parathyroid adenomas. *Int. J. Endocrinol.* 2020; 2020: 3801902. <https://doi.org/10.1155/2020/3801902>
92. Furlan A., Tublin M.E., Yu L., Chopra K.B., Lippello A., Behari J. Comparison of 2D shear wave elastography, transient elastography, and MR elastography for the diagnosis of fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Am. J. Roentgenol.* 2020; 214 (1): W20–W26. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.21267>
93. Cosgrove D., Piscaglia F., Bamber J., Bojunga J., Correas J.M., Gilja O.H., Klauser A.S., Sporea I., Calliada F., Cantisani V., D’Onofrio M., Drakonaki E.E., Fink M., Friedrich-Rust M., Fromageau J., Havre R.F., Jenssen C., Ohlinger R., Saftoiu A., Schaefer F., Dietrich C.F.; EFSUMB. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall Med.* 2013; 34 (3): 238–253. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1335375>
94. Saftoiu A., Gilja O.H., Sidhu P.S., Dietrich C.F., Cantisani V., Amy D., Bachmann-Nielsen M., Bob F., Bojunga J., Brock M., Calliada F., Clevert D.A., Correas J.M., D’Onofrio M., Ewertsen C., Farrokhi A., Fodor D., Fusaroli P., Havre R.F., Hocke M., Ignee A., Jenssen C., Klauser A.S., Kollmann C., Radzina M., Ramnarine K.V., Sconfienza L.M., Solomon C., Sporea I., Ștefanescu H., Tanter M., Vilmann P. The EFSUMB guidelines and recommendations for the clinical practice of elastography in non-hepatic

- applications: update 2018. *Ultraschall Med.* 2019; 40 (4): 425–453.
<https://doi.org/10.1055/a-0838-9937>
95. Dietrich C.F., Bamber J., Berzigotti A., Bota S., Cantisani V., Castera L., Cosgrove D., Ferraioli G., Friedrich-Rust M., Gilja O.H., Goertz R.S., Karlas T., de Knecht R., de Ledinghen V., Piscaglia F., Procopet B., Saftoiu A., Sidhu P.S., Sporea I., Thiele M. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version). *Ultraschall Med.* 2017; 38 (4): e16–e47.
<https://doi.org/10.1055/s-0043-103952>
 96. Paluch L., Pietruski P., Walecki J., Noszczyk B.H. Wrist to forearm ratio as a median nerve shear wave elastography test in carpal tunnel syndrome diagnosis. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 2018; 71 (8): 1146–1152.
<https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.03.022>
 97. Neto T., Freitas S.R., Andrade R.J., Vaz J.R., Mendes B., Firmino T., Bruno P.M., Nordez A., Oliveira R. Shear wave elastographic investigation of the immediate effects of slump neurodynamics in people with sciatica. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39(4): 675–681. <https://doi.org/10.1002/jum.15144>
 98. He Y., Xiang X., Zhu B.H., Qiu L. Shear wave elastography evaluation of the median and tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2019; 9 (2): 273–282.
<https://doi.org/10.21037/qims.2019.02.05>
 99. Jiang W., Huang S., Teng H., Wang P., Wu M., Zhou X., Xu W., Zhang Q., Ran H. Diagnostic performance of two-dimensional shear wave elastography for evaluating tibial nerve stiffness in patients with diabetic peripheral neuropathy. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (5): 2167–2174.
<https://doi.org/10.1007/s00330-018-5858-4>
 100. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C., Candan F., Erdemli S., Tombul T., Gunaydin G.D., Kabaalioglu A. Assessment of peripheral nerves with shear wave elastography in type 1 diabetic adolescents without diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrasound Med.* 2019; 38 (6): 1583–1596.
<https://doi.org/10.1002/jum.14848>
 101. Dikici A.S., Ustabasioglu F.E., Delil S., Nalbantoglu M., Korkmaz B., Bakan S., Kula O., Uzun N., Mihmanli I., Kantarci F. Evaluation of the tibial nerve with shear-wave elastography: a potential sonographic method for the diagnosis of diabetic peripheral neuropathy. *Radiology.* 2017; 282 (2): 494–501.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2016160135>
 102. Ishibashi F., Taniguchi M., Kojima R., Kawasaki A., Kosaka A., Uetake H. Elasticity of the tibial nerve assessed by sonoelastography was reduced before the development of neuropathy and further deterioration associated with the severity of neuropathy in patients with type 2 diabetes. *J. Diabetes Investig.* 2016; 7 (3): 404–412.
<https://doi.org/10.1111/jdi.12408>
 103. Wei M., Ye X. Feasibility of point shear wave elastography for evaluating diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (6): 1135–1141. <https://doi.org/10.1002/jum.15198>
 104. Zakrzewski J., Zakrzewska K., Pluta K., Nowak O., Miloszevska-Paluch A. Ultrasound elastography in the evaluation of peripheral neuropathies: a systematic review of the literature. *Pol. J. Radiol.* 2019; 84: e581–e591.
<https://doi.org/10.5114/pjr.2019.91439>

REFERENCES

1. Clinical practice guidelines *Type 1 Diabetes mellitus in children*, http://cr.rosminzdrav.ru/schemma/287_1 (2018, accessed 20.11.2020) (in Russian)
2. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 9th ed. Brussels, Belgium: 2019. <http://www.diabetesatlas.org> (accessed 20.11.2020)
3. Dedov I.I., Shestakova M.V., Peterkova V.A., Vikulova O.K., Zheleznyakova A.V., Isakov M.A., Laptev D.N., Andrianova E.A., Shiryayeva T.Y. Diabetes mellitus in children and adolescents according to the Federal diabetes registry in the Russian Federation: dynamics of major epidemiological characteristics for 2013–2016. *Diabetes mellitus.* 2017; 20 (6): 392–402.
<https://doi.org/10.14341/DM9460> (in Russian)
4. Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. Epidemiology of diabetes mellitus in Russian Federation: clinical and statistical report according to the federal diabetes registry. *Diabetes mellitus.* 2017; 20 (1): 13–41.
<https://doi.org/10.14341/DM8664> (in Russian)
5. Politova E.A., Logachev M.F., Zavadenko N.N. Diabetic peripheral neuropathy (literature review). *Children's hospital.* 2012; 3: 54–59. (in Russian)
6. Millere E., Gribuste L., Kazaine I., Strautmanis J., Gailite L., Kenina V. Clinical and neurophysiological spectrum of polyneuropathies in children. *Neurol. Neurochir. Pol.* 2020; 54 (5): 466–470.
<https://doi.org/10.5603/pjnms.a2020.0068>
7. Khristoforu T.A. High tone electric pulse therapy in the prevention and treatment of distal peripheral polyneuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. PhD Thesis, Pirogov Medical University, Moscow, Russia, 2012. (in Russian)
8. Khristoforu T.A., Logachev M.F. Current concepts of diabetic peripheral polyneuropathy in children and adolescents: clinical, pathological, and diagnostic aspects, and treatment options. *Children's hospital.* 2011; 1: 49–53. (in Russian)
9. Kotov A.S., Eliseev Yu.V. Current concepts in treatment of diabetic polyneuropathy. *Effective Pharmacotherapy. Endocrinology.* 2012; 5: 58–60. (in Russian)
10. Sadikova G.K., Abduvalieva M.A. Characteristics of neurological complications in children with type 1 diabetes mellitus. *Young Scientist.* 2017; 16 (150): 13–15. (in Russian)
11. Kotov A.S., Eliseev Yu.V. Diabetic polyneuropathy and diabetic foot syndrome. *Effective Pharmacotherapy. Endocrinology.* 2013; 48: 32–39. (in Russian)
12. Nelson D., Mah J.K., Adams C., Hui S., Crawford S., Darwish H., Stephure D., Pacaud D. Comparison of conventional and non-invasive techniques for the early identification of diabetic neuro-

- pathy in children and adolescents with type 1 diabetes. *Pediatr. Diabetes*. 2006; 7 (6): 305–310. <https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2006.00208.x>
13. Nordwall M., Hyllienmark L., Ludvigsson J. Early diabetic complications in a population of young patients with type 1 diabetes mellitus despite intensive treatment. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab*. 2006; 19 (1): 45–54. <https://doi.org/10.1515/jpem.2006.19.1.45>
 14. Dedov I.I., Kuraeva T.L., Peterkova V.A. *Diabetes mellitus in children and adolescents: a guideline*. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2013. 272 p. (in Russian)
 15. Pocket guide to the management of diabetes in children and adolescents in countries with disabilities resources. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2009. <https://www.idf.org/e-library/guidelines/89-pocketbook-for-management-of-diabetes-in-childhood-and-adolescence-in-under-resourced-countries-2nd-edition.html> (accessed 20.11.2020)
 16. Armstrong D.G., Lavery L.A., Vela S.A., Quebedeaux T.L., Fleischli J.G. Choosing a practical screening instrument to identify patients at risk for diabetic foot ulceration. *Arch. Intern. Med*. 1998; 158 (3): 289–292. <https://doi.org/10.1001/archinte.158.3.289>
 17. Martina I.S., van Koningsveld R., Schmitz P.I., van der Meche F.G., van Doorn P.A. Measuring vibration threshold with a graduated tuning fork in normal aging and in patients with polyneuropathy. European Inflammatory Neuropathy Cause and Treatment (INCAT) group. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 1998; 65 (5): 743–747. <https://doi.org/10.1136/jnnp.65.5.743>
 18. Demidova I.Yu., Khramilin V.N., Ignatova O.Yu. Distal diabetic polyneuropathy. *Endocrine Surgery*. 2008; 1: 29–39. (in Russian)
 19. Boulton A.J., Vinik A.I., Arezzo J.C., Bril V., Feldman E.L., Freeman R., Malik R.A., Maser R.E., Sosenko J.M., Ziegler D.; American Diabetes Association. Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2005; 28 (4): 956–962. <https://doi.org/10.2337/diacare.28.4.956>
 20. Casellini C.M., Vinik A.I. Clinical manifestations and current treatment options for diabetic neuropathies. *Endocr. Pract.* 2007; 13 (5): 550–566. <https://doi.org/10.4158/ep.13.5.550>
 21. Paisley A., Abbott C., van Schie C., Boulton A. A comparison of the Neuropen against standard quantitative sensory-threshold measures for assessing peripheral nerve function. *Diabet. Med*. 2002; 19 (5): 400–405. <https://doi.org/10.1046/j.1464-5491.2002.00706.x>
 22. Clinical practice guidelines *Type 2 Diabetes mellitus in adult*, http://cr.rosminzdrav.ru/schema/290_1 (2019, accessed 20.11.2020) (in Russian)
 23. Breiner A., Qrimli M., Ebadi H., Alabdali M., Lovblom L.E., Abraham A., Albulahi H., Perkins B.A., Bril V. Peripheral nerve high-resolution ultrasound in diabetes. *Muscle Nerve*. 2017; 55 (2): 171–178. <https://doi.org/10.1002/mus.25223>
 24. Dyck P.J., Albers J.W., Andersen H., Arezzo J.C., Biessels G.J., Bril V., Feldman E.L., Litchy W.J., O'Brien P.C., Russell J.W.; Toronto Expert Panel on Diabetic Neuropathy. Diabetic polyneuropathies: update on research definition, diagnostic criteria and estimation of severity. *Diabetes Metab. Res. Rev*. 2011; 27 (7): 620–628. <https://doi.org/10.1002/dmrr.1226>
 25. Riazi S., Bril V., Perkins B.A., Abbas S., Chan V.W., Ngo M., Lovblom L.E., El-Beheiry H., Brull R. Can ultrasound of the tibial nerve detect diabetic peripheral neuropathy? A cross-sectional study. *Diabetes Care*. 2012; 35 (12): 2575–2579. <https://doi.org/10.2337/dc12-0739>
 26. Arumugam T., Razali S.N., Vethakkan S.R., Rozalli F.I., Shahrizaila N. Relationship between ultrasonographic nerve morphology and severity of diabetic sensorimotor polyneuropathy. *Eur. J. Neurol*. 2016; 23 (2): 354–360. <https://doi.org/10.1111/ene.12836>
 27. Singh K., Gupta K., Kaur S. High resolution ultrasonography of the tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrason*. 2017; 17 (71): 246–252. <https://doi.org/10.15557/jou.2017.0036>
 28. Khramilin V.N., Demidova I.Yu., Staroverova I.N. *Distal diabetic neuropathy: training manual*. Moscow: Vidar-M, 2012. 128 p. (in Russian)
 29. Consensus statement: Report and recommendations of the San Antonio conference on diabetic neuropathy. American Diabetes Association American Academy of Neurology. *Diabetes Care*. 1988; 11 (7): 592–597. <https://doi.org/10.2337/diacare.11.7.592>
 30. Hassan A., Leep Hunderfund A.N., Watson J., Boon A.J., Sorenson E.J. Median nerve ultrasound in diabetic peripheral neuropathy with and without carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve*. 2013; 47 (3): 437–439. <https://doi.org/10.1002/mus.23677>
 31. Kim L.N., Kwon H.K., Moon H.I., Pyun S.B., Lee H.J. Sonography of the median nerve in carpal tunnel syndrome with diabetic neuropathy. *Am. J. Phys. Med. Rehabil*. 2014; 93 (10): 897–907. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000000084>
 32. Louraki M., Karayianni C., Kanaka-Gantenbein C., Katsaloulis M., Karavanaki K. Peripheral neuropathy in children with type 1 diabetes. *Diabetes Metab*. 2012; 38 (4): 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2012.02.006>
 33. Kang S., Kim S.H., Yang S.N., Yoon J.S. Sonographic features of peripheral nerves at multiple sites in patients with diabetic polyneuropathy. *J. Diabetes Complications*. 2016; 30 (3): 518–523. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacom.2015.12.008>
 34. Watanabe T., Ito H., Sekine A., Katano Y., Nishimura T., Kato Y., Takeda J., Seishima M., Matsuoka T. Sonographic evaluation of the peripheral nerve in diabetic patients: the relationship between nerve conduction studies, echo intensity, and cross-sectional area. *J. Ultrasound Med*. 2010; 29 (5): 697–708. <https://doi.org/10.7863/jum.2010.29.5.697>
 35. Hobson-Webb L.D., Massey J.M., Juel V.C. Nerve ultrasound in diabetic polyneuropathy: correlation with clinical characteristics and electrodiagnostic testing. *Muscle Nerve*. 2013; 47 (3): 379–384. <https://doi.org/10.1002/mus.23625>
 36. Feldman E., Grisold W., Russel J., Locher W. (eds.) *Atlas of neuromuscular diseases: a practical guide-*

- line. Moscow: Practical Medicine, 2016. 392 p. (in Russian)
37. Ruyatkina L.Y., Poltoratskaya E.S., Pakhomov I.A., Ruyatkin D.S., Schepankevich M.A., Pervuninskaya M.A. Electroneuromyography in diagnostics of early stages of diabetic neuropathy – invitation of endocrinologists, neurologists and electrophysiologists to discussion. *Medical Council*. 2016; 10: 156–162. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-10-156-162> (in Russian)
 38. Cenesiz F., Tur B.S., Tezic T., Gurer Y. Nerve conduction in children suffering insulin dependent diabetes mellitus. *Indian J. Pediatr.* 2003; 70 (12): 945–951. <https://doi.org/10.1007/bf02723816>
 39. Comi G., Canal N., Lozza L., Beccaria L., Meschi F., Vanini R., D’Arcais A.F., Chiumello G. Peripheral nerve abnormalities in newly-diagnosed diabetic children. *Acta Diabetol. Lat.* 1986; 23 (1): 69–75. <https://doi.org/10.1007/bf02581357>
 40. Tesfaye S., Stevens L.K., Stephenson J.M., Fuller J.H., Plater M., Ionescu-Tirgoviste C., Nuber A., Pozza G., Ward J.D. Prevalence of diabetic peripheral neuropathy and its relation to glycaemic control and potential risk factors: the EURODIAB IDDM Complications Study. *Diabetologia*. 1996; 39 (11): 1377–1384. <https://doi.org/10.1007/s001250050586>
 41. Kaar M.L., Saukkonen A.L., Pitkanen M., Akerblom H.K. Peripheral neuropathy in diabetic children and adolescents. A cross-sectional study. *Acta Paediatr. Scand.* 1983; 72 (3): 373–378. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1983.tb09731.x>
 42. Gallai V., Firenze C., Mazzotta G., Del Gatto F. Neuropathy in children and adolescents with diabetes mellitus. *Acta Neurol. Scand.* 1988; 78 (2): 136–140. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1988.tb03634.x>
 43. Young R.J., Ewing D.J., Clarke B.F. Nerve function and metabolic control in teenage diabetics. *Diabetes*. 1983; 32 (2): 142–147. <https://doi.org/10.2337/diab.32.2.142>
 44. Kasatkina L.F., Gilvanova O.V. *Electromyography in neuromuscular diseases diagnosis. Needle Electromyography*. Moscow: Medika, 2010. 416 p. (in Russian)
 45. Brill V. Electrophysiological testing. In: Gries F.A., Cameron N.E., Low P.A., Ziegler D. (eds.) *Textbook of diabetic neuropathy*. Stuttgart: Thieme, 2003. pp. 177–184.
 46. Badalyan L.O., Skvortsov I.A. *Clinical electroneuromyography: a guide for doctors*. Moscow: Medicine, 2001. 999 p. (in Russian)
 47. Doi K., Otsuka K., Okamoto Y., Fujii H., Hattori Y., Baliarsing A.S. Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography. *J. Neurosurg.* 2002; 96 (3. Suppl.): 277–284. <https://doi.org/10.3171/spi.2002.96.3.0277>
 48. Saltykova V.G., Mitkova M.D. Ultrasound diagnostics in examination of extremities peripheral nerves. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2011; 3: 93–106. (in Russian)
 49. Bianchi S. Ultrasound of the peripheral nerves. *Joint Bone Spine*. 2008; 75 (6): 643–639. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2008.07.002>
 50. Chien A.J., Jamadar D.A., Jacobson J.A., Hayes C.W., Louis D.S. Sonography and MR imaging of posterior interosseous nerve syndrome with surgical correlation. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 181 (1): 219–221. <https://doi.org/10.2214/ajr.181.1.1810219>
 51. Konovalov A.N., Kornienko V.N., Pronin I.N. *Magnetic resonance imaging in neurosurgery*. Moscow: Vidar, 1997. 560 p. (in Russian)
 52. Belenkov Yu.N., Ternovoy S.K., Belichenko O.I. *Clinical application of magnetic resonance imaging with contrast enhancement*. Moscow: Vidar, 1996. pp. 9–59. (in Russian)
 53. Pham M., Oikonomou D., Baumer P., Bierhaus A., Heiland S., Humpert P.M., Nawroth P.P., Bendszus M. Proximal neuropathic lesions in distal symmetric diabetic polyneuropathy: findings of high-resolution magnetic resonance neurography. *Diabetes Care*. 2011; 34 (3): 721–723. <https://doi.org/10.2337/dc10-1491>
 54. Pham M., Oikonomou D., Hornung B., Weiler M., Heiland S., Baumer P., Kollmer J., Nawroth P.P., Bendszus M. Magnetic resonance neurography detects diabetic neuropathy early and with proximal predominance. *Ann. Neurol.* 2015; 78 (6): 939–948. <https://doi.org/10.1002/ana.24524>
 55. Vaeggemose M., Ringgaard S., Ejskjaer N., Andersen H. Magnetic resonance imaging may be used for early evaluation of diabetic peripheral polyneuropathy. *J. Diabetes Sci. Technol.* 2015; 9 (1): 162–163. <https://doi.org/10.1177/1932296814559303>
 56. Wu C., Wang G., Zhao Y., Hao W., Zhao L., Zhang X., Cao J., Wang S., Chen W., Chan Q., Zhao B., Chhabra A. Assessment of tibial and common peroneal nerves in diabetic peripheral neuropathy by diffusion tensor imaging: a case control study. *Eur. Radiol.* 2017; 27 (8): 3523–3531. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4698-3>
 57. Wang D., Wang C., Duan X., Yang Z., Bai Z., Hu H., Yan L., Shen J. MR T2 value of the tibial nerve can be used as a potential non-invasive and quantitative biomarker for the diagnosis of diabetic peripheral neuropathy. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (3): 1234–1241. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5043-1>
 58. Tesfaye S., Selvarajah D., Gandhi R., Greig M., Shillo P., Fang F., Wilkinson I.D. Diabetic peripheral neuropathy may not be as its name suggests: evidence from magnetic resonance imaging. *Pain*. 2016; 157. Suppl. 1: S72–S80. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000465>
 59. Zheng Y., Wang L., Krupka T.M., Wang Z., Lu G., Zhang P., Zuo G., Li P., Ran H., Jian H. The feasibility of using high frequency ultrasound to assess nerve ending neuropathy in patients with diabetic foot. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82 (3): 512–517. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.09.017>
 60. Liu F., Zhu J., Wei M., Bao Y., Hu B. Preliminary evaluation of the sural nerve using 22-MHz ultrasound: a new approach for evaluation of diabetic cutaneous neuropathy. *PLoS One*. 2012; 7 (4): e32730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032730>

61. Sugimoto K., Yasujima M., Yagihashi S. Role of advanced glycation end products in diabetic neuropathy. *Curr. Pharm. Des.* 2008; 14 (10): 953–961. <https://doi.org/10.2174/138161208784139774>
62. Grewal A.S., Bhardwaj S., Pandita D., Lather V., Sekhon B.S. Updates on aldose reductase inhibitors for management of diabetic complications and non-diabetic diseases. *Mini Rev. Med. Chem.* 2016; 16 (2): 120–162. <https://doi.org/10.2174/1389557515666150909143737>
63. Lee D., Dauphinee D.M. Morphological and functional changes in the diabetic peripheral nerve: using diagnostic ultrasound and neurosensory testing to select candidates for nerve decompression. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2005; 95 (5): 433–437. <https://doi.org/10.7547/0950433>
64. Kerasnoudis A. Intranerve cross sectional area variability of tibial nerve in diabetic neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82 (9): 1590–1591. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.02.035>
65. Aitemirov Sh.M., Ninel V.G., Korshunova G.A., Shchanitsyn I.N. High-resolution ultrasonography in the diagnosis and management of peripheral nerve lesions (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2015; 77 (3): 116–125. (in Russian)
66. Maletskiy E.Yu. *Possibilities of ultrasound examination in the diagnosis of tunnel neuropathies of the upper limb.* PhD Thesis, Saint-Petersburg, Russia, 2017. (in Russian)
67. Saltykova V.G. *Ultrasound of peripheral nerves (norms, injuries, and diseases).* PhD Thesis, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Russia, 2011. (in Russian)
68. Druzhinin D.S., Naumova E.S., Nikitin S.S. Nerve sonography in multifocal motor neuropathy and chronic inflammatory demyelinating polyneuropathy. *Neuromuscular Diseases.* 2016; 6 (1): 63–73. (in Russian) <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2016-6-1-63-73>
69. Naumova E.S., Druzhinin D.S., Nikitin S.S., Kurbatov S.A. Spectrum of sonographic changes in hereditary motor and sensory neuropathy with autosomal dominant and X-linked inheritance. *Neuromuscular Diseases.* 2016; 6 (2): 27–34. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2016-6-2-27-34> (in Russian)
70. Peer S., Bodner G. (eds.) *High resolution sonography of the peripheral nervous system: general considerations and technical concept.* 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. 208 p.
71. Jeziorny K., Niwald A., Moll A., Piasecka K., Pyziak-Skupien A., Waszczykowska A., Baranska D., Malachowska B., Szadkowska A., Mlynarski W., Zmyslowska A. Measurement of corneal thickness, optic nerve sheath diameter and retinal nerve fiber layer as potential new non-invasive methods in assessing a risk of cerebral edema in type 1 diabetes in children. *Acta Diabetol.* 2018; 55 (12): 1295–1301. <https://doi.org/10.1007/s00592-018-1242-8>
72. Hunderfund A.N., Boon A.J., Mandrekar J.N., Sorenson E.J. Sonography in carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.* 2011; 44 (4): 485–491. <https://doi.org/10.1002/mus.22075>
73. Ishibashi F., Taniguchi M., Kojima R., Kawasaki A., Kosaka A., Uetake H. Morphological changes of the peripheral nerves evaluated by high-resolution ultrasonography are associated with the severity of diabetic neuropathy, but not corneal nerve fiber pathology in patients with type 2 diabetes. *J. Diabetes Investig.* 2015; 6 (3): 334–342. <https://doi.org/10.1111/jdi.12299>
74. Singh K., Gupta K., Kaur S. High resolution ultrasonography of the tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrason.* 2017; 17 (71): 246–252. <https://doi.org/10.15557/jou.2017.0036>
75. Kelle B., Evran M., Balli T., Yavuz F. Diabetic peripheral neuropathy: correlation between nerve cross-sectional area on ultrasound and clinical features. *J. Back Musculoskelet. Rehabil.* 2016; 29 (4): 717–722. <https://doi.org/10.3233/bmr-160676>
76. Moon H.I., Kwon H.K., Kim L., Lee H.J., Lee H.J. Ultrasonography of palm to elbow segment of median nerve in different degrees of diabetic polyneuropathy. *Clin. Neurophysiol.* 2014; 125 (4): 844–848. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.10.041>
77. Beekman R., Visser L.H. High-resolution sonography of the peripheral nervous system – a review of the literature. *Eur. J. Neurol.* 2004; 11 (5): 305–314. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2004.00773.x>
78. Mitkov V.V., Mitkova M.D. Ultrasound shear wave elastography. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2015; 2: 94–108. (in Russian)
79. Katrich A.N., Okhotina A.V., Shamakhyan K.A., Ryabin N.S. Ultrasound shear wave elastography in the diagnosis of liver fibrosis stage. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2017; 3: 10–21. (in Russian)
80. Kamalov Yu.R., Khutornoy I.V., Kryzhanovskaya E.Yu., Filin A.V., Morozova M.M. Point shear wave elastography (ARFI-elastometry) in non-viral chronic liver diseases. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2018; 4: 33–45. (in Russian)
81. Mitkov V.V., Chubarova K.A., Zabolotskaya N.V., Mitkova M.D., Yaurova N.V. Shear wave elastography in multiparametric ultrasound diagnosis of malignant breast tumors of different sizes. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2015; 2: 9–18. (in Russian)
82. Katrich A.N., Okhotina A.V., Shamakhyan K.A., Ryabin N.S. Comparative analysis of stiffness in focal thyroid lesions using point shear wave elastography. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2016; 6: 22–30. (in Russian)
83. Polukhina E.V., Glazun L.O. Strain and shear-wave elastography in parathyroid glands evaluation in patients with secondary hyperparathyroidism (preliminary study). *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2018; 4: 89–109. (in Russian)
84. Kadrev A.V., Mitkova M.D., Kamalov D.M., Danilova N.V., Kamalov A.A., Mitkov V.V. Targeted elastometry (shear wave elastography) in diagnosis of prostate cancer (preliminary results). *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2019; 1: 17–29. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2019-1-17-29> (in Russian)
85. Kadrev A.V., Mitkova M.D., Kamalov A.A., Mitkov V.V. Ultrasound shear wave elastography as a part of multiparametric ultrasound in local staging of prostate cancer (brief review and case

- reports). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2019; 1: 30–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2019-1-30-44> (in Russian)
86. Mitkov V.V., Gogaeva I.M., Mitkova M.D., Kolesnikov G.P., Vasileva A.K., Kadrev A.V., Ryazantsev A.A. Ultrasound shear wave elastography in testicular cancer characterization // *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2017; 5: 13–24. (in Russian)
87. Prikhodko A.M., Baev O.R., Lunkov S.S., Eremina O.V., Gus A.I. Strain elastography of the uterus after spontaneous labor and cesarean section. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2018; 4: 65–76. (in Russian)
88. Saltykova V.G., Burmakova G.M., Mitkov V.V. Ultrasound shear wave elastography in diagnosis of supraspinatus tendon calcification. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2013; 6: 78–92. (in Russian)
89. Pykov M.I., Kuzmina N.E., Kinzersky A.Yu., Sorokin D.V. Shear wave elastography in chronic liver diseases: liver stiffness evaluation in children. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2018; 1: 32–42. (in Russian)
90. Liao J., Yang H., Yu J., Liang X., Chen Z. Progress in the application of ultrasound elastography for brain diseases. *J. Ultrasound Med*. 2020; 39 (11): 2093–2104. <https://doi.org/10.1002/jum.15317>
91. Cotoi L., Amzar D., Sporea I., Borlea A., Navolan D., Varcus F., Stoian D. Shear wave elastography versus strain elastography in diagnosing parathyroid adenomas. *Int. J. Endocrinol*. 2020; 2020: 3801902. <https://doi.org/10.1155/2020/3801902>
92. Furlan A., Tublin M.E., Yu L., Chopra K.B., Lippello A., Behari J. Comparison of 2D shear wave elastography, transient elastography, and MR elastography for the diagnosis of fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Am. J. Roentgenol*. 2020; 214 (1): W20–W26. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.21267>
93. Cosgrove D., Piscaglia F., Bamber J., Bojunga J., Correas J.M., Gilja O.H., Klausner A.S., Sporea I., Calliada F., Cantisani V., D'Onofrio M., Drakonaki E.E., Fink M., Friedrich-Rust M., Fromageau J., Havre R.F., Jenssen C., Ohlinger R., Saftoiu A., Schaefer F., Dietrich C.F.; EFSUMB. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall Med*. 2013; 34 (3): 238–253. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1335375>
94. Saftoiu A., Gilja O.H., Sidhu P.S., Dietrich C.F., Cantisani V., Amy D., Bachmann-Nielsen M., Bob F., Bojunga J., Brock M., Calliada F., Clevert D.A., Correas J.M., D'Onofrio M., Ewertsen C., Farrokhi A., Fodor D., Fusaroli P., Havre R.F., Hocke M., Ignee A., Jenssen C., Klausner A.S., Kollmann C., Radzina M., Ramnarine K.V., Sconfienza L.M., Solomon C., Sporea I., Ștefanescu H., Tanter M., Vilman P. The EFSUMB guidelines and recommendations for the clinical practice of elastography in non-hepatic applications: update 2018. *Ultraschall Med*. 2019; 40 (4): 425–453. <https://doi.org/10.1055/a-0838-9937>
95. Dietrich C.F., Bamber J., Berzigotti A., Bota S., Cantisani V., Castera L., Cosgrove D., Ferraioli G., Friedrich-Rust M., Gilja O.H., Goertz R.S., Karlas T., de Knecht R., de Ledinghen V., Piscaglia F., Procopet B., Saftoiu A., Sidhu P.S., Sporea I., Thiele M. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version). *Ultraschall Med*. 2017; 38 (4): e16–e47. <https://doi.org/10.1055/s-0043-103952>
96. Paluch L., Pietruski P., Walecki J., Noszczyk B.H. Wrist to forearm ratio as a median nerve shear wave elastography test in carpal tunnel syndrome diagnosis. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg*. 2018; 71 (8): 1146–1152. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.03.022>
97. Neto T., Freitas S.R., Andrade R.J., Vaz J.R., Mendes B., Firmino T., Bruno P.M., Nordez A., Oliveira R. Shear wave elastographic investigation of the immediate effects of slump neurodynamics in people with sciatica. *J. Ultrasound Med*. 2020; 39(4): 675–681. <https://doi.org/10.1002/jum.15144>
98. He Y., Xiang X., Zhu B.H., Qiu L. Shear wave elastography evaluation of the median and tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *Quant. Imaging Med. Surg*. 2019; 9 (2): 273–282. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.02.05>
99. Jiang W., Huang S., Teng H., Wang P., Wu M., Zhou X., Xu W., Zhang Q., Ran H. Diagnostic performance of two-dimensional shear wave elastography for evaluating tibial nerve stiffness in patients with diabetic peripheral neuropathy. *Eur. Radiol*. 2019; 29 (5): 2167–2174. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5858-4>
100. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C., Candan F., Erdemli S., Tombul T., Gunaydin G.D., Kabaalioglu A. Assessment of peripheral nerves with shear wave elastography in type 1 diabetic adolescents without diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrasound Med*. 2019; 38 (6): 1583–1596. <https://doi.org/10.1002/jum.14848>
101. Dikici A.S., Ustabasioglu F.E., Delil S., Nalbantoglu M., Korkmaz B., Bakan S., Kula O., Uzun N., Mihmanli I., Kantarci F. Evaluation of the tibial nerve with shear-wave elastography: a potential sonographic method for the diagnosis of diabetic peripheral neuropathy. *Radiology*. 2017; 282 (2): 494–501. <https://doi.org/10.1148/radiol.2016160135>
102. Ishibashi F., Taniguchi M., Kojima R., Kawasaki A., Kosaka A., Uetake H. Elasticity of the tibial nerve assessed by sonoelastography was reduced before the development of neuropathy and further deterioration associated with the severity of neuropathy in patients with type 2 diabetes. *J. Diabetes Investig*. 2016; 7 (3): 404–412. <https://doi.org/10.1111/jdi.12408>
103. Wei M., Ye X. Feasibility of point shear wave elastography for evaluating diabetic peripheral neuropathy. *J. Ultrasound Med*. 2020; 39 (6): 1135–1141. <https://doi.org/10.1002/jum.15198>
104. Zakrzewski J., Zakrzewska K., Pluta K., Nowak O., Miloszewska-Paluch A. Ultrasound elastography in the evaluation of peripheral neuropathies: a systematic review of the literature. *Pol. J. Radiol*. 2019; 84: e581–e591. <https://doi.org/10.5114/pjr.2019.91439>

Nerve ultrasound in diabetic distal polyneuropathy diagnosis in adult and children with type 1 diabetes mellitus

M.G. Danilova¹, V.G. Saltykova², E.E. Usenko¹, I.A. Aboian¹,
M.N. Morgunov³, D.R. Ramonova²

¹ Clinical Diagnostic Center “Zdorovie”, Rostov-on-Don

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow

³ Rostov State Medical University, Rostov-on-Don

M.G. Danilova – M.D., Ultrasound Diagnostics Department, Clinical Diagnostic Center “Zdorovie”, Rostov-on-Don. <https://orcid.org/0000-0001-9177-536X>

V.G. Saltykova – M.D., Ph.D., Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3879-6457>

E.E. Usenko – M.D., Ph.D., Head of Ultrasound Diagnostics Department, Clinical Diagnostic Center “Zdorovie”, Rostov-on-Don. <https://orcid.org/0000-0002-4146-8270>

I.A. Aboian – M.D., Ph.D., Professor, Chief Physician, Clinical Diagnostic Center “Zdorovie”, Rostov-on-Don.

M.N. Morgunov – M.D., Ph.D., Head of Ultrasound Diagnostics Department, Clinic, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don. <https://orcid.org/0000-0002-6238-9782>

D.R. Ramonova – M.D., Ph.D. fellow, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow.

Correspondence to Dr. Marina G. Danilova. E-mail: danilova-m82@mail.ru

The literature review analyzes the value of ultrasound in the diagnosis of diabetic distal polyneuropathy in type 1 diabetes mellitus. The pathogenesis of the diabetic distal polyneuropathy and the associated ultrasound changes in the peripheral nerves of the upper and lower extremities are described in detail. The use of ultrasound elastography in the diagnosis of diabetic distal polyneuropathy is shown. Modern diagnostic approaches for extremity's peripheral nerves examination in type 1 diabetes mellitus, including electrophysiological examination and imaging technologies, are discussed. The emphasis is made on the use of ultrasound in the diagnosis of diabetic distal polyneuropathy in the pediatric population.

Key words: nerve ultrasound, type 1 diabetes mellitus, diabetic distal polyneuropathy, peripheral nerves, children.

Citation: Danilova M.G., Saltykova V.G., Usenko E.E., Aboian I.A., Morgunov M.N., Ramonova D.R. Nerve ultrasound in diabetic distal polyneuropathy diagnosis in adult and children with type 1 diabetes mellitus. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2020; 4: 78–97. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-4-78-97> (in Russian)