

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>

Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа

© Фомина С.В.*, Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; 634050 Томск, Московский тракт, д. 2, Российская Федерация

Диабетическая полинейропатия относится к осложнениям сахарного диабета, требующим особого внимания в детском возрасте. Поиск новых методов оценки периферических нервов является актуальной задачей. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной открывает дополнительные возможности оценки изменений периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа.

Цель исследования: оценка параметров ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Материал и методы. В исследование были включены данные 213 детей в возрасте 7–18 лет. Из них 159 детей с установленным диагнозом сахарный диабет 1 типа разной длительности и контрольная группа – 54 ребенка.

Ультразвуковое исследование периферических нервов нижних конечностей всем пациентам было выполнено с использованием В-режима, режима эластографии сдвиговой волной.

Заключение. Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о возможном использовании ультразвуковой эластографии для динамического наблюдения состояния периферических нервов у пациентов с сахарным диабетом 1 типа в детском и подростковом возрасте. Периферические нервы у данной категории пациентов характеризуются более высокими значениями параметров жесткости при ультразвуковой эластографии.

Ключевые слова: сахарный диабет; диабетическая полинейропатия; ультразвуковое исследование; площадь поперечного сечения; ультразвуковая эластография; электромиография; дети; подростки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 133–141.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>

Поступила в редакцию: 25.01.2024. Принята к печати: 09.07.2024. Опубликовано online: 25.07.2024.

Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus

© Svetlana V. Fomina*, Vera D. Zavadovskaya, Iuliia G. Samoilova, Marina V. Koshmeleva, Dmitriy A. Kachanov, Ekaterina I. Trifonova, Maxim A. Zorkaltsev, Vera E. Yun

Siberian State Medical University; 2, Moskovskii trakt, Tomsk 634050, Russian Federation

Diabetic polyneuropathy (DPN) is a complication of diabetes mellitus (DM) that requires special attention in childhood. The search for new methods for assessing peripheral nerves is an urgent task. Shear wave ultrasound elastography offers additional opportunities for assessing peripheral nerve changes in children with type 1 diabetes.



The purpose of the study is to evaluate the parameters of ultrasound elastography of peripheral nerves in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus.

Material and methods. The study included data from 213 children aged 7–18 years. Of these, 159 children were diagnosed with type 1 diabetes mellitus of varying duration and the control group included 54 children.

Ultrasound examination of the peripheral nerves of the lower extremities was performed in all patients using B-mode, shear wave elastography mode.

Results. The data obtained during the study indicate the possible use of ultrasound elastography for dynamic monitoring of the condition of peripheral nerves in patients with type 1 diabetes in childhood and adolescence. Peripheral nerves in this category of patients are characterized by higher values of stiffness parameters in ultrasound elastography.

Keywords: diabetes mellitus; diabetic polyneuropathy; ultrasound; cross-sectional area; ultrasound elastography; electroneuromyography; children; teenagers

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Fomina S.V., Zavadovskaya V.D., Samoilova Iu.G., Koshmeleva M.V., Kachanov D.A., Trifonova E.I., Zorkaltsev M.A., Yun V.E. Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 133–141. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>

Received: 25.01.2024.

Accepted for publication: 09.07.2024.

Published online: 25.07.2024.

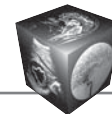
Введение

Диабетическая полинейропатия (ДПН) является сосудистым осложнением сахарного диабета (СД) с высокой значимостью и актуальностью, особенно в детском возрасте [1]. Ежегодный рост количества пациентов с СД требует дополнительного внимания к вопросу повышения качества жизни пациентов, снижению рисков развития осложнений в отсроченной перспективе и уменьшению случаев инвалидизации [2]. Хроническая гипергликемия способствует развитию ишемии периферических нервов и служит запуском каскада патологических изменений, приводящих к развитию демиелинизации и аксональным нарушениям. Снижение функции периферических нервов, в первую очередь нижних конечностей, сопровождается снижением чувствительности, появлением болей, трофических изменений кожных покровов, ростом рисков инвалидизации. Особенностью течения ДПН является длительный бессимптомный период, пациенты долгое время не обращаются за медицинской помощью, что ухудшает отсроченный прогноз течения заболевания, особенно в детском возрасте [3, 4].

Ультразвуковая эластография сдвиговой волной относится к современным возможностям количественной оценки жесткости исследуемых тканей и органов. Появление данного метода связано с техническим развитием ультразвуковых сканеров и биологическим свойством тканей менять свою жесткость при воспалительных и неопластических процессах. Ультразвуковая регистрация изменений жесткости ткани успешно используется в диагностических алгоритмах при определении стадии фиброза печени, новообразований грудных желез, новообразований щитовидной железы,

оценки структуры лимфатических узлов [5]. Актуальным направлением использования ультразвуковой эластографии является оценка жесткости периферических нервов у пациентов с СД. Регистрация повышения жесткости периферических нервов, по данным литературы, характерна для ДПН [6–8]. Учитывая сложный патоморфологический механизм развития ДПН с длительным периодом отсутствия клинических проявлений и особенности диагностики, включающие операторозависимые и аппаратозависимые методы, такие как стимуляционная электронейромиография (ЭНМГ) и игольчатая электромиография, поиск безболезненного и безопасного диагностического инструмента является актуальной задачей, особенно в детской практике [3, 9].

Анализ литературных данных создает предпосылки для клинического использования ультразвуковой эластографии периферических нервов при диагностике ДПН [6, 8, 10]. Ученые предполагают, что повышение жесткости нервов связано с ростом внутринервного давления в результате отека нерва при его ишемии, что может быть использовано в диагностическом наблюдении изменений периферических нервов [8, 10]. Обращают на себя внимание малое количество научных исследований и разрозненность результатов ультразвуковых исследований с эластографией в диагностике ДПН у детей и подростков с СД 1 типа. Отмечаются методические расхождения при ультразвуковой эластографии периферических нервов, ученые исследуют разные периферические нервы, их комбинации, проводят измерение жесткости разных локализаций нервов, включая физиологически жесткие участки, такие как карпальный канал, канал Гюйона, кубитальный



канал, фибулярный канал, тарзальный канал, что приводит к увеличению артефактов и снижению точности исследования [6]. Исследователи указывают на необходимость стандартизации ультразвукового протокола для оценки жесткости периферических нервов с установкой зон сканирования, определением вида сканирования (поперечное или продольное) [8, 10].

Настоящее исследование было предпринято для изучения возможностей применения в клинической практике ультразвуковой эластографии периферических нервов у пациентов с СД 1 типа в детском и подростковом возрасте.

Цель исследования: оценить параметры ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей и подростков с СД 1 типа.

Материал и методы

Исследование было выполнено на базе клиник ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (заключение № 9518 от 28.08.2023).

В исследование были включены данные 213 детей в возрасте 7–18 лет. Из них 159 детей с установленным диагнозом СД 1 типа, с уровнем гликированного гемоглобина от 7,6 до 10,4%. Контрольная группа включала данные 54 детей без СД. С учетом возраста пациенты с СД были разделены на 2 группы: 1-я группа (7–12 лет) включала 63 ребенка, 2-я группа (13–17 лет) – 96 детей.

Всем пациентам выполнялось ультразвуковое исследование (УЗИ) периферических нервов нижних конечностей в положении пациента лежа на животе. УЗИ проводились на аппарате экспертного класса Canon Aplio i 700 линейным датчиком 9–17 МГц одним врачом ультразвуковой диагностики и включали: В-режим, режим цветового доплеровского картирования (ЦДК), недоплеровской микроваскуляризации (SMI), режим эластографии сдвиговой волной. При нативном УЗИ в поперечном и продольном сечении оценивали целостность нерва, однородность структуры, эхогенность, отсутствие патологических образований в структуре, дифференцировку на фасцикулы. Оценка размеров исследуемых нервов проводилась путем измерения площади поперечного сечения (ППС) на следующих участках: седалищный нерв – средняя треть бедра; большеберцовый нерв – нижняя треть бедра, на 1–2 см ниже бифуркации седалищного нерва; малоберцовый нерв – нижняя треть бедра, на 1–2 см ниже бифуркации седалищного нерва. Васкуляризация оценивалась с использованием ЦДК и SMI в поперечном срезе на каждом участке измерения размеров нервов,

в случае регистрации локуса васкуляризации кровотока считался усиленным. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной с измерением жесткости нерва проводилось строго в поперечных срезах, в зонах измерения ППС, согласно методике проведения эластографии сдвиговой волной поверхностно-расположенных органов [6]. Датчик относительно зоны измерения располагали под прямым углом, без оказания давления во время исследования, использовали малое количество геля, с длительностью исследования не менее 4 с для равномерного распространения сдвиговых волн, с измерением каждого участка не менее 3 раз, с автоматическим вычислением медианы (рис. 1а, б). С целью снижения аппаратозависимых факторов при измерении жесткости нервов старались избегать артефактов, возникающих от передаточной пульсации близкорасположенных артерий, близости костных структур, большой глубины зон исследования (более 80 мм) [6].

Статистический анализ был выполнен с помощью программного обеспечения Statistica версия 13.3. Для описания количественных данных использованы медиана и 25–75-й процентиль. Для сравнения двух независимых групп был использован непараметрический критерий Манна–Уитни. Оценка корреляционной зависимости между показателями проведена непараметрическим критерием Спирмена. Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

С целью анализа полученных результатов было выделено 2 группы пациентов на основании различной ППС периферических нервов. Количественные данные о ППС были получены нами на предыдущем этапе исследования [6]. В 1-ю группу с увеличением размеров периферических нервов вошло 70 детей, 2-ю группу с неизменными размерами составили 89 детей. При определении группы учитывался возраст ребенка, за нормативные ультразвуковые значения размеров нервов принимались общепринятые данные [11].

При нативном УЗИ периферические нервы нижних конечностей характеризовались типичной структурой. Патологические изменения, нарушения целостности, кистозные и солидные образования не выявлены. В режимах ЦДК и SMI васкуляризация не изменена.

Для оценки вариабельности ультразвуковой “жесткости” периферических нервов нижних конечностей у детей и подростков с СД 1 типа было проведено сравнение данного показателя в группах “увеличенный размер нервов” и “нормальный размер нервов”, результаты представлены графически на рис. 2.

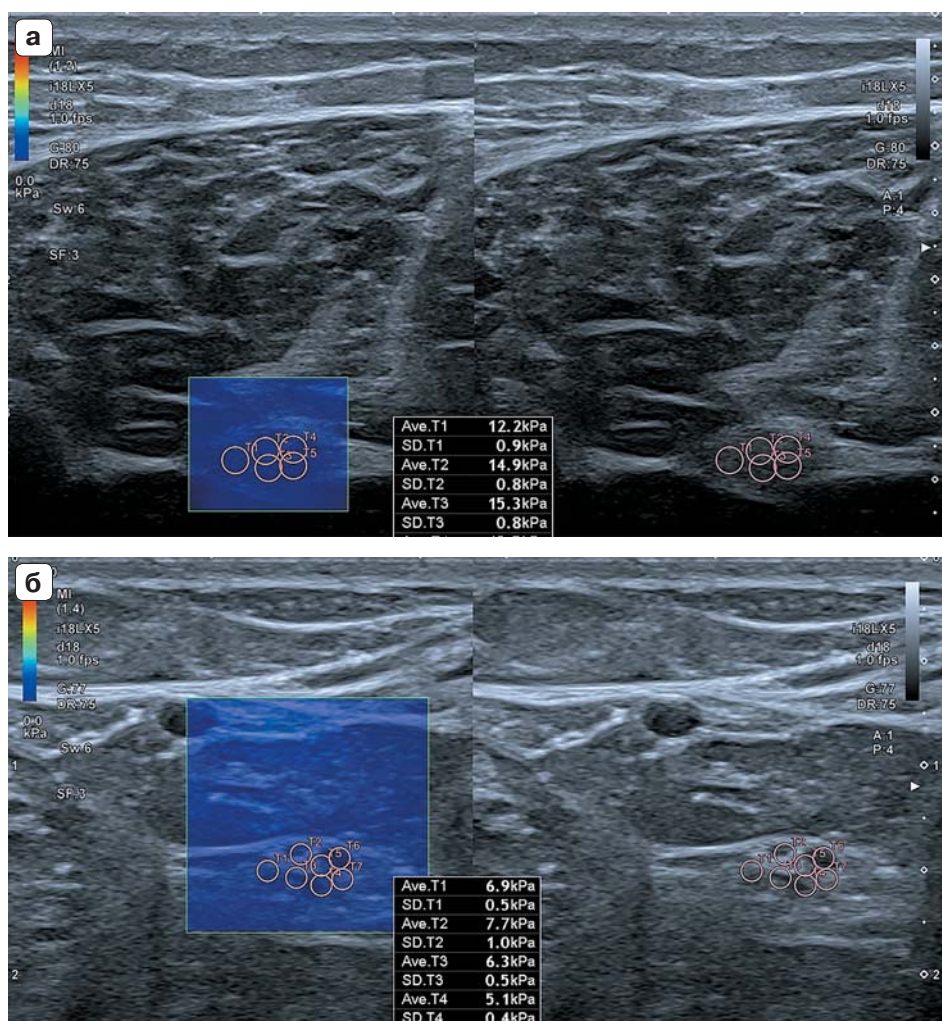
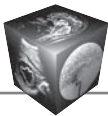


Рис. 1. Эластография сдвиговой волной. **а** – седалищного нерва; **б** – большеберцового нерва.

Fig. 1. Shear wave elastography. **a** – of the sciatic nerve; **b** – of the tibial nerve.

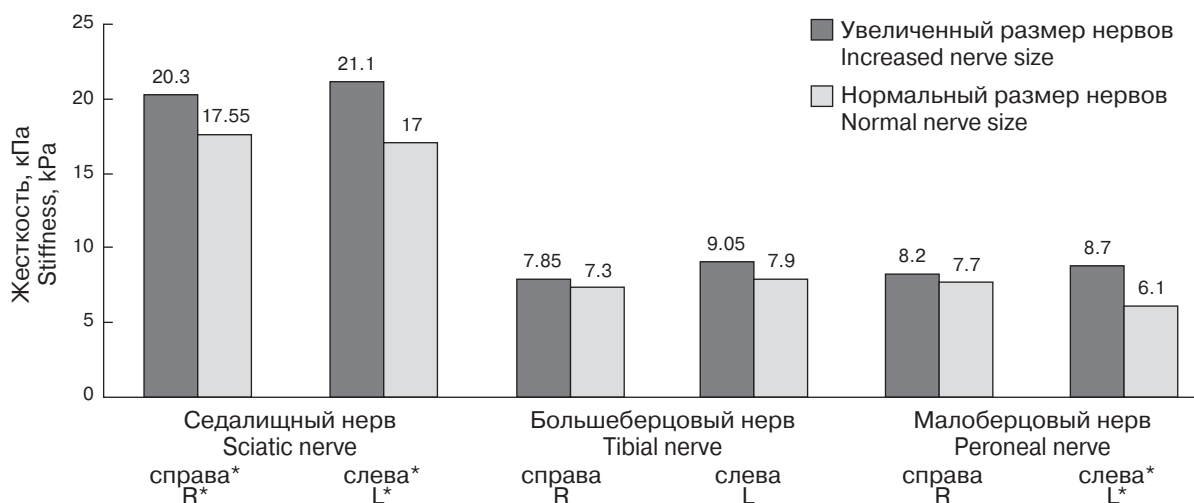


Рис. 2. Диаграмма “жесткости” (медиана) периферических нервов у пациентов с “увеличенным размером нервов” и “нормальным размером нервов” (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0.05$).

Fig. 2. Diagram of “Stiffness” (median) of peripheral nerves in patients with “increased nerve size” and “normal nerve size” (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$).

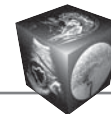


Таблица 1. Зависимость “жесткости” периферических нервов от размеров нервов (ППС) и антропометрических показателей у детей и подростков с СД 1 типа (критерий Спирмена, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 1. Dependence of “stiffness” of peripheral nerves on nerve size (CSA) and anthropometric parameters in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus (Spearman test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Жесткость, седалищный нерв, кПа Stiffness, sciatic nerve, kPa		Жесткость, большеберцовый нерв, кПа Stiffness, tibial nerve, on the thigh, kPa		Жесткость, малоберцовый нерв, кПа Stiffness, peroneal nerve, kPa	
	R	L	R	L	R	L
Взаимосвязь возраста, роста, массы тела с жесткостью периферических нервов Relationship between age, height, weight and peripheral nerve stiffness						
Возраст Age	0.36*	0.52*	0.40*	0.39*	0.23*	0.26*
Рост Height	0.43*	0.53*	0.39*	0.31*	0.24	0.16
Масса тела Weight	0.46*	0.55*	0.43*	0.43*	0.27*	0.18
Взаимосвязь размеров (ППС) с жесткостью периферических нервов Relationship between size (cross-sectional area) and peripheral nerve stiffness						
ППС, седалищный нерв (R), мм ² CSA, sciatic nerve (R), mm ²	0.47*	–	–	–	–	–
ППС, седалищный нерв (L), мм ² CSA, sciatic nerve (L), mm ²	–	0.53*	–	–	–	–
ППС, большеберцовый нерв (R), мм ² CSA, tibial nerve, on the thigh (R), mm ²	–	–	0.33*	–	–	–
ППС, большеберцовый нерв (L), мм ² CSA, tibial nerve, on the thigh (L), mm ²	–	–	–	0.29*	–	–
ППС, малоберцовый нерв (R), мм ² CSA, peroneal nerve (R), mm ²	–	–	–	–	0.09	–
ППС, малоберцовый нерв (L), мм ² CSA, peroneal nerve (L), mm ²	–	–	–	–	–	0.25

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: R – справа, L – слева. * – взаимосвязи показателей с уровнем значимости $p < 0,05$.
Note. R – right, L – left.

Результат сравнения демонстрирует повышение “жесткости” практически всех нервов в группе “увеличенный размер нервов”, статистически значимое увеличение показателя было зарегистрировано по седалищным и малоберцовому нервам.

Принимая во внимание литературные данные о влиянии возраста, антропометрических данных на размеры периферических нервов (ППС), было принято решение на следующем этапе оценить наличие взаимосвязи этих параметров с показателем ультразвуковой эластографии “жесткость” периферических нервов с использованием корреляционного анализа, данные представлены в табл. 1.

Результаты анализа, представленные в табл. 1, показывают наличие прямо пропорциональной связи между возрастом, ростом, массой тела, размерами нервов (ППС) и ультразвуковым пока-

зателем “жесткость” периферических нервов. Наибольшая сила связи определяется с “жесткостью” более крупных периферических нервов, а именно, седалищного и большеберцового.

Различия и тенденции повышения жесткости при увеличении размеров периферических нервов (см. рис. 2), а также установленные корреляционные взаимосвязи между ППС и “жесткостью” нервов (см. табл. 1) позволили предположить наличие возможности введения коэффициента “ультразвуковой оценки периферического нерва” (УПН), как отношение “жесткость” нерва / размер нерва (ППС), отражающих структурные особенности периферических нервов.

Была выдвинута гипотеза, что данный коэффициент может быть использован для динамической оценки состояния периферических нервов у детей



Таблица 2. Сравнение коэффициента УПН у пациентов с СД 1 типа в группах “возраст 7–12 лет” и “возраст 13–17 лет” (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 2. Comparison of the coefficient of “Ultrasound assessment of peripheral nerve” (UPN) in patients with type 1 diabetes mellitus in the groups “age 7–12 years” and “age 13–17 years” (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Возраст 7–12 лет Ages 7–12 years			Возраст 13–17 лет Ages 13–17 years			p
	медиана median	процентиля percentiles		медиана median	процентиля percentiles		
		25-й	75-й		25-й	75-й	
УПН, седалищный нерв (R) UPN, sciatic nerve (R)	0.73	0.55	1.02	0.74	0.52	0.91	0.87
УПН, седалищный нерв (L) UPN, sciatic nerve (L)	0.73	0.60	0.86	0.76	0.54	0.94	0.59
УПН, большеберцовый нерв (R) UPN, tibial nerve (R)	0.57	0.40	0.73	0.56	0.40	0.73	0.87
УПН, большеберцовый нерв (L) UPN, tibial nerve (L)	0.62	0.45	0.81	0.62	0.47	0.82	0.49
УПН, малоберцовый нерв (R) UPN, peroneal nerve (R)	1.66	0.97	2.36	1.51	1.05	2.22	0.72
УПН, малоберцовый нерв (L) UPN, peroneal nerve (L)	1.27	0.91	1.72	1.48	0.90	2.13	0.17

Таблица 3. Сравнение коэффициента УПН у пациентов с СД 1 типа и контрольной группы (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 3. Comparison of the UPN coefficient in patients with type 1 diabetes mellitus and the control group (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Сахарный диабет 1 типа Diabetes mellitus type 1			Контрольная группа Control group			p
	медиана median	процентиля percentiles		медиана median	процентиля percentiles		
		25-й	75-й		25-й	75-й	
УПН, седалищный нерв (R) UPN, sciatic nerve (R)	0.75	0.55	0.95	0.63	0.48	0.84	0.02
УПН, седалищный нерв (L) UPN, sciatic nerve (L)	0.74	0.57	0.91	0.69	0.48	0.97	0.36
УПН, большеберцовый нерв (R) UPN, tibial nerve (R)	0.60	0.44	0.73	0.54	0.35	0.80	0.26
УПН, большеберцовый нерв (L) UPN, tibial nerve (L)	0.67	0.48	0.86	0.55	0.44	0.74	0.02
УПН, малоберцовый нерв (R) UPN, peroneal nerve (R)	1.52	1.06	2.26	1.54	0.91	2.27	0.27
УПН, малоберцовый нерв (L) UPN, peroneal nerve (L)	1.37	0.90	2.02	1.32	0.81	1.84	0.12

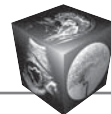
и подростков с СД 1 типа. Для проверки влияния возраста на коэффициент УПН было проведено сравнение в группах детей и подростков разного возраста критерием Манна–Уитни с уровнем значимости $p < 0,05$, результаты представлены в табл. 2.

Полученное отсутствие статистически значимых различий в группах “возраст 7–12 лет” и “воз-

раст 13–17 лет” по коэффициенту УПН позволяет делать вывод, что возраст не оказывает значимого влияния на данный коэффициент.

Для оценки вариабельности коэффициента УПН было проведено сравнение данного параметра в группах с СД 1 типа и контроль (табл. 3).

Результаты сравнения, представленные в табл. 3, демонстрируют статистически значимое



повышение значений коэффициента УПН седалищного и большеберцового нервов в группе с СД 1 типа. Обращают на себя внимание более высокие значения коэффициента УПН практически всех исследуемых нервов в группе пациентов с СД 1 типа.

Обсуждение

Зарегистрированное в исследовании повышение жесткости нервов у детей и подростков с СД 1 типа при увеличении размеров нервов свидетельствует об изменениях, сочетающих дегенеративные изменения аксонов и демиелинизацию, с повышением внутринеурального давления, отеком, развитием ишемии в ответ на хроническую гипергликемию. Наши результаты согласуются с литературными данными [1, 2, 4, 8, 9, 11, 12].

Наличие взаимозависимости между возрастом, ростом, массой тела, размерами нервов (ППС) и ультразвуковым показателем “жесткость” периферических нервов свидетельствует о необходимости учитывать возрастные и антропометрические данные при анализе ультразвуковых показателей периферических нервов. Данный факт значительно затрудняет ультразвуковое динамическое наблюдение пациентов данной группы.

Принимая во внимание сложность совместной интерпретации данных УЗИ нервов, а именно: размер (ППС) и “жесткость”, наличие коэффициента УПН, включающего соотношение этих характеристик, расширит и упростит возможности ультразвуковой оценки изменений периферических нервов в динамике. Полученное отсутствие влияния возраста на показатель УПН открывает перспективу к его использованию в клинической практике при мониторинге изменений периферических нервов у детей и подростков с СД 1 типа.

Зарегистрированное повышение показателя УПН у детей с СД 1 типа при сравнении с контрольной группой является прямым следствием повышения жесткости исследуемых нервов, отражающих каскад изменений структуры нервов в ответ на гипергликемию.

Увеличение выборки исследуемых пациентов, сопоставление данных коэффициента УПН с данными ЭНМГ позволит лучше понять механизм и взаимосвязь повышения жесткости периферических нервов с процессами демиелинизации и аксональными нарушениями. Полученные результаты создают предпосылки к продолжению исследования, изучению возможностей ультразвуковой эластографии, включая использование коэффициента УПН, для клинического мониторинга периферических нервов у детей и подростков с СД 1 типа.

Выводы

1. Периферические нервы у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа характеризуются более высокой “жесткостью”, более высоким уровнем коэффициента “ультразвуковой оценки периферического нерва” при ультразвуковой эластографии.

2. Жесткость периферических нервов увеличивается с возрастом, ростом, массой тела, площадью поперечного сечения нервов у пациентов детского и подросткового возраста с сахарным диабетом 1 типа.

3. Коэффициент “ультразвуковой оценки периферического нерва” можно использовать для динамического наблюдения изменений периферических нервов без учета возраста у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Участие авторов

Фомина С.В. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи.

Самойлова Ю.Г., Завадовская В.Д. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Кошмелева М.В., Трифонова Е.И., Качанов Д.А., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. – сбор данных, поиск литературы, проверка интеллектуального содержания.

Authors' participation

Fomina S.V. – article writing, data collection, data analysis and interpretation, manuscript preparation.

Samoilova Ju.G., Zavadovskaya V.D. – development of the concept and design of the publication, verification of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Koshmeleva M.V., Trifonova E.I., Kachanov D.A., Zorkaltsev M.A., Yun V.E. – data collection, literature search, intellectual content check.

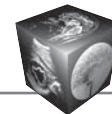
Список литературы

1. Kallinikou D., Soldatou A., Tsentidis C. et al. Diabetic neuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: Diagnosis, pathogenesis, and associated genetic markers. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2019; 35 (7): e3178. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3178>
2. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А. Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинко-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. *Сахарный диабет.* 2021; 24 (3): 204–221. <https://doi.org/10.14341/DM12759>
3. Sloan G., Selvarajah D., Tesfaye S. Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021; 17: 400–420. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00496-z>



4. Borire A.A., Issar T., Kwai N.C. et al. Correlation between markers of peripheral nerve function and structure in type 1 diabetes. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2018; 34 (7): e3028. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3028>.
5. Эластография сдвиговых волн. Анализ клинических примеров (практическое руководство для последипломной профессиональной переподготовки врачей): Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по специальности 31.08.11 Ультразвуковая диагностика (уровень ординатуры). 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.В. Борсукова. СИМК, 2022. 468 с. ISBN 978-5-91894-102
6. Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кудлай Д.А., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Ультразвуковая оценка периферических нервов у пациентов с сахарным диабетом типа 1 различной длительности в детском и подростковом возрасте. *Врач.* 2023; 34 (12): 17–24. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-12-04>
7. Zakrzewski J., Zakrzewska K., Pluta K. et al. 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>
8. Wang C., Wang H., Zhou Y. et al. Evaluation of the clinical value of shear wave elastography for early detection and diagnosis of diabetic peripheral neuropathy: a controlled preliminary prospective clinical study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022; 23 (1): 1120. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06085-z>
9. Никитин С.С., Муртазина А.Ф., Дружинин Д.С. Блок проведения возбуждения по периферическому нерву как электрофизиологический феномен: обзор литературы. *Нервно-мышечные болезни.* 2019; 9 (1): 12–23. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23>
10. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C. et al. 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>
11. Данилова М.Г., Салтыкова В.Г., Усенко Е.Е. Нормальная эхографическая картина периферических нервов нижних конечностей у детей. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 2: 59–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2018-2-59-74>
12. Goyal K., Aggarwal P., Gupta M. Ultrasound evaluation of peripheral nerves of the lower limb in diabetic peripheral neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2021; 145: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110058>
2. Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. et al. Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the diabetes mellitus register as of 01/01/2021. *Diabetes mellitus.* 2021; 24 (3): 204–221. <https://doi.org/10.14341/DM12759> (In Russian)
3. Sloan G., Selvarajah D., Tesfaye S. Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021; 17: 400–420. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00496-z>
4. Borire A.A., Issar T., Kwai N.C. et al. Correlation between markers of peripheral nerve function and structure in type 1 diabetes. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2018; 34 (7): e3028. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3028>.
5. Shear wave elastography. Analysis of clinical examples (a practical guide for postgraduate professional retraining of doctors): a textbook for use in the educational process of educational institutions implementing higher education programs in the specialty 08/31/11 Ultrasound diagnostics (residency level). 2nd ed., revised. and additional / Ed. by A.V. Borsukov. СИМК, 2022. 468 p. ISBN 978-5-91894-102 (In Russian)
6. Fomina S.V., Zavadovskaya V.D., Samoilova Yu.G. et al. Ultrasound assessment of peripheral nerves in patients with type 1 diabetes mellitus of varying duration in childhood and adolescence. *Врач.* 2023; 34 (12): 17–24. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-12-04> (In Russian)
7. Zakrzewski J., Zakrzewska K., Pluta K. et al. 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>
8. Wang C., Wang H., Zhou Y. et al. Evaluation of the clinical value of shear wave elastography for early detection and diagnosis of diabetic peripheral neuropathy: a controlled preliminary prospective clinical study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022; 23 (1): 1120. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06085-z>
9. Nikitin S.S., Murtazina A.F., Druzhinin D.S. Block of excitation conduction along the peripheral nerve as an electrophysiological phenomenon: review of the literature. *Neuromuscular Diseases.* 2019; 9 (1): 12–23. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23>. (In Russian)
10. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C. et al. 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>
11. Danilova M.G., Saltykova V.G., Usenko E.E. Normal echographic pattern of the lower extremities peripheral nerves in children. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2018; 2: 59–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2018-2-59-74> (In Russian)
12. Goyal K., Aggarwal P., Gupta M. Ultrasound evaluation of peripheral nerves of the lower limb in diabetic peripheral neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2021; 145: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110058>

References



Для корреспонденции*: Фомина Светлана Викторовна – e-mail: statfom@mail.ru

Фомина Светлана Викторовна – канд. мед. наук, доцент, заведующая отделением, врач ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>

Завадовская Вера Дмитриевна – доктор мед. наук, профессор, и.о. зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

Самойлова Юлия Геннадьевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Кошмелева Марина Владиславовна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Качанов Дмитрий Андреевич – лаборант-исследователь кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Трифоновна Екатерина Ивановна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Зоркальцев Максим Александрович – доктор мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>

Юн Вера Эдуардовна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-9127-8619>

Contact*: Svetlana V. Fomina – e-mail: statfom@mail.ru

Svetlana V. Fomina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Head of the Department – Doctor of Ultrasound Diagnostics, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>

Vera D. Zavadovskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

Iuliia G. Samoilova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Marina V. Koshmeleva – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Dmitriy A. Kachanov – Laboratory researcher at the Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Ekaterina I. Trifonova – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Maxim A. Zorkaltsev – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>

Vera E. Yun – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-9127-8619>