

DOI: 10.17650/2222-8721-2022-12-1-10-20



Ультразвуковая эластография мышц у детей с детским церебральным параличом: систематический обзор литературы

В.М. Кенис^{1,2}, А.В. Сапоговский¹, Е.В. Мельченко¹, О.Е. Агранович¹, А.И. Шубина¹, М.В. Журбицкая¹

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России; Россия, 196603 Санкт-Петербург, ул. Парковая, 64–68;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; Россия, 195067 Санкт-Петербург, Пискаревский проспект, 47

Контакты: Владимир Маркович Кенис kenis@mail.ru

Ультразвуковая эластография – это группа диагностических методов, позволяющих визуализировать жесткость ткани, осуществлять измерения и отображать биомеханические свойства тканей. Целью работы было проведение систематического анализа имеющихся в литературе данных исследований, посвященных эластографии мышц у детей с детским церебральным параличом (ДЦП).

Проведен поиск литературы по ключевым словам в базах данных PubMed, Google Scholar, eLIBRARY. Критериями включения публикаций в анализ являлись соответствие нозологии (ДЦП), возрасту (до 18 лет) и использованному методу исследования (ультразвуковая эластография мышц), их дизайн (оригинальное исследование), а также наличие подробных сведений о методике исследования, описание возрастных, демографических и клинических показателей.

В основной анализ вошло 20 публикаций. Наиболее часто изучались пациенты с гемипаретическими формами ДЦП, при этом в качестве контроля использовалась здоровая сторона, чаще использовалась эластография сдвиговой волной, при которой оценивались как ее скорость, так и модуль сдвига, чаще применялись линейные датчики. Наиболее частым анатомическим объектом были мышцы голени. Наиболее часто эластография использовалась для оценки результатов ботулинотерапии и показывала увеличение эластичности мышцы после лечения.

Исследование механических свойств скелетных мышц у детей с ДЦП с помощью ультразвуковой эластографии находится в стадии разработки, и на данный момент эту методику нельзя считать подходящей в качестве рутинного исследования. В исследовательских целях данный метод показал свою информативность: все анализируемые нами публикации продемонстрировали существенное отличие показателей эластографии как при сравнении пораженных мышц с мышцами непораженной конечности или здоровых детей, так и при исследовании после проведения различных терапевтических воздействий, направленных на снижение тонуса и ретракции мышцы.

Продемонстрировано отсутствие единого подхода к эластографии мышцы у детей с ДЦП с точки зрения как техники получения информации, так и ее анализа и интерпретации. Эластография мышц у детей с ДЦП является перспективным методом исследования состояния мышечной ткани, требующим дальнейшего развития. Совершенствование технологии, методик получения изображения и его обработки, стандартизация техники позволят в дальнейшем расширить область применения данного метода.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, ультразвуковая эластография, мышцы, систематический обзор

Для цитирования: Кенис В.М., Сапоговский А.В., Мельченко Е.В. и др. Ультразвуковая эластография мышц у детей с детским церебральным параличом: систематический обзор литературы. Нервно-мышечные болезни 2022;12(1): 10–20. DOI: 10.17650/2222-8721-2022-12-1-10-20.

Ultrasound elastography of muscles in cerebral palsy: systematic review

V.M. Kenis^{1,2}, A.V. Sapogovskiy¹, E.V. Melchenko¹, O.E. Agranovich¹, A.I. Shubina¹, M.V. Zhurbitskaya¹

¹H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery; 64–68 Parkovaya St., Saint Petersburg 196603, Russia;

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; 47 Piskarevskiy Prospekt, Saint Petersburg 195067, Russia

Contacts: Vladimir Markovich Kenis kenis@mail.ru

Quantitative analysis of skeletal muscles in cerebral palsy is an important but unsolved problem. Ultrasound elastography is a group of diagnostic methods that allow visualizing tissue stiffness, measuring and displaying biomechanical properties of tissues. The aim of our study was to conduct a systematic analysis of literature on ultrasound elastography of skeletal muscles in children with cerebral palsy.

A literary search for keywords in the databases PubMed, Google Scholar, eLIBRARY was carried out. The inclusion criteria were nosology (cerebral palsy), age (up to 18 years) and the study design (original study in ultrasound elastography of the skeletal muscler), as well as the availability of detailed information about the technical issues, demographic and clinical data.

The final analysis included 20 publications. Patients with hemiplegic cerebral palsy were most often studied, with the healthy side used as a control, shear wave elastography was used more often, in which both shear wave velocity and shear modulus were assessed, and linear probes were used more often. The most frequent anatomical objects were the calf muscles. Most often, elastography was used to assess the results of botulinum therapy, and demonstrated an increase in muscle elasticity after treatment.

Ultrasound elastography as a method of assessment of the mechanical properties of skeletal muscles in children with cerebral palsy cannot be considered suitable as a routine study at the moment. But the method showed promising results for the research purposes: all the publications we analyzed demonstrated significant difference in elastography indicators both when comparing with unaffected limb or with healthy controls. Positive changes were also detected after various therapeutic interventions aimed to reducing muscle tone and retraction e. g. botulinum toxin injections.

The absence of a unified approach to muscle elastography in children with cerebral palsy was demonstrated, both for data obtaining and interpretation. In general, ultrasound elastography of the skeletal muscles in children with cerebral palsy is a promising method for qualitative and quantitative assessment of muscle tissue that requires further development. Improvement of technology, standardization of technique and measurements will further expand the usage of this method.

Key words: infantile cerebral palsy, ultrasound elastography, muscles, systematic review

For citation: Kenis V.M., Sapogovskiy A.V., Melchenko E.V. et al. Ultrasound elastography of muscles in cerebral palsy: systematic review. *Nervno-myshechnye bolezni = Neuromuscular Diseases* 2022;12(1):10–20. (In Russ.). DOI: 10.17650/2222-8721-2022-12-1-10-20.

Изменения мышц при детском церебральном параличе (ДЦП) с точки зрения патогенеза носят вторичный характер по отношению к поражению центральной нервной системы [1]. Тем не менее именно эти нарушения со стороны мышц как эффекторных органов определяют в наибольшей степени собственно клинические проявления заболевания — двигательные нарушения. Первичные двигательные нарушения при ДЦП принято разделять на несколько типов: спастичность, дистония, ригидность, гипотония и др. [2]. Имеющиеся в литературе определения этих двигательных феноменов носят по преимуществу описательный характер и не содержат в себе элементов, которые могут быть положены в основу строго количественных методов оценки. Наиболее изученным из двигательных нарушений, характерных для ДЦП, является спастичность, но даже для нее отсутствуют строго количественные методы объективной оценки. Наиболее часто используемые шкалы оценки спастичности (шкала Эшворта, шкала Тардье) [3] являются полуколичественными и в значительной степени зависят от исследователя.

Помимо изменений тонуса при ДЦП в мышце происходят вторичные патологические процессы, приводящие к изменению ее структурных характеристик. В первую очередь они проявляются прогрессирующим фиброзом мышечной ткани, кроме того, происходят изменения вязкоэластичных свойств как мышцы в целом, так и отдельных ее фибрилл. Еще одним фактором, влияющим на функцию мышцы при данном за-

болевании, является изменение архитектоники мышц, характеризующееся, как правило, ретракцией мышечного брюшка и изменением направления хода мышечных волокон [1].

Длительное время предпринимались попытки количественной оценки изменений в мышечной ткани при ДЦП. При этом в разное время предлагались методики инструментальной оценки с целью уменьшить фактор субъективности и повысить точность измерений. Важность этих задач определяется необходимостью как прогнозирования течения заболевания, так и оценки результатов различных видов лечения. В первую очередь это касается непосредственно антиспастической терапии (в том числе ботулинотерапии) и хирургии спастичности. С этой целью с различным успехом применялись методики механической тонометрии, электрофизиологические методы, различные методы косвенной оценки. Несмотря на многочисленные попытки подобного рода, инструментальные методы оценки мышечного гипертонуса и механических свойств мышцы у детей с ДЦП по разным причинам не нашли широкого применения. Это связано как с относительно низкими показателями информативности и воспроизводимости данных методов, так и с необходимостью использования дополнительного оборудования [4].

В последние годы ультразвуковая диагностика патологических состояний расширяет свои возможности за счет повышения разрешающей способности приборов,

а также в связи с появлением их дополнительных функций. Среди важных достижений такого рода, позволяющих расширить функциональные возможности ультразвукографии, достаточно интенсивно развивается направление ультразвуковой эластографии [5].

Эластография — группа диагностических методов, позволяющих визуализировать жесткость ткани, осуществлять измерения и отображать биомеханические свойства тканей, связанные с упругими восстанавливающими силами, противодействующими деформации сдвига, что дает дополнительную возможность дифференцировать патологические процессы в тканях [6]. На сегодняшний день имеется 2 основные технологии эластографии: компрессионная эластография и эластография сдвиговой волной. С физической точки зрения компрессионная эластография может обеспечивать только качественную характеристику распределения упругости (жесткости) в тканях. Эластография сдвиговой волной использует оценку скорости распространения сдвиговой волны, которая выше в жестких тканях и ниже в мягких тканях [5].

Первые сообщения об использовании соноэластографии в медицине были опубликованы в начале 90-х годов XX века [7]. Первоначально данная технология нашла применение в диагностике и инвазивных вмешательствах при исследовании опухолей печени [8], но по мере того как эластография становилась стандартным методом исследования в гепатологии, появился интерес к ее использованию и в других областях [9].

Мышечная ткань представляется весьма перспективным объектом в связи с доступностью для исследования, а также важностью оценки ее эластических свойств. В настоящее время в литературе имеется достаточное количество исследований, посвященных различным аспектам применения эластографии мышцы. Эти исследования касаются оценки мышечной ткани как в норме, так и при ее различных патологических состояниях.

Эластография мышц также достаточно активно используется при нейромышечных заболеваниях: в литературе имеются публикации, посвященные применению данного метода при последствиях нарушений мозгового кровообращения, болезни Дюшенна, а также при ДЦП [10]. Однако эти исследования носят разрозненный характер. В связи с этим целью нашей работы было проведение систематического анализа данных имеющихся в литературе исследований, посвященных эластографии мышцы у детей с ДЦП.

Нами проведен поиск литературы по ключевым словам в наиболее информативных базах данных на английском и русском языке (PubMed, Google Scholar, eLIBRARY). В качестве ключевых слов для поиска нами были использованы следующие сочетания: «эластография» + «детский церебральный паралич», «elastography» + «cerebral palsy», «sonoelastography» + «cerebral palsy». Критериями включения публикаций в анализ являлись

соответствие нозологии (ДЦП), возрасту (до 18 лет) и использованному методу исследования (ультразвуковая эластография мышц), их дизайн (оригинальное исследование), а также наличие сведений о методике исследования, описание возрастных, демографических и клинических показателей исследуемой группы пациентов. Критериями исключения публикации из анализа, соответственно, являлись обзорный характер исследования либо описание клинических случаев, несоответствие обследованных пациентов изучаемой нозологии, отсутствие описания пациентов и методики.

Публикации были проанализированы в соответствии с разработанным нами алгоритмом: анализировались использованная методика, использованный прибор, техника исследования, число обследованных, наличие контрольной группы, параметры, которые оценивались исследователями. Результаты были сведены в общую таблицу для наглядного представления. На 2-м этапе оценивались клиническая значимость публикаций, а также возможность интерполирования ее данных на повседневную клиническую практику.

Первичный поиск в базах данных показал отсутствие исследований, соответствующих заявленным критериям, опубликованным на русском языке. Поиск в международных базах данных выявил 830 соответствий ключевым словам. После первичного анализа на соответствие, а также исключения дублирующих и цитирующих публикаций было отобрано 27 релевантных источников, которые были проанализированы на соответствие критериям включения. В основной анализ вошло 20 публикаций, соответствующих заявленным нами критериям [11–30].

В соответствии с планом исследования результаты анализа структуры публикаций (общие сведения о материалах и методах исследований) представлены в табл. 1.

Первые публикации по использованию эластографии при ДЦП относятся к 2012 г. [23, 26], а большинство (17 из 20 публикаций) — к последним 5 годам, что свидетельствует о нарастающем интересе к данной методике. Как видно из представленных в табл. 1 данных, в большинстве случаев исследования ограничивались относительно небольшими группами пациентов (10–20 детей). Наиболее часто изучались пациенты с гемипаретическими формами ДЦП [14–16, 20, 25, 27–29], при этом в качестве контроля использовалась здоровая сторона. Также более часто, особенно в последние годы, использовалась эластография сдвиговой волной [11–22, 24, 25, 27, 28] по сравнению с компрессионной эластографией [23, 26, 29, 30]. В 19 исследованиях применялись линейные датчики, позиционирование датчика осуществлялось по продольной оси мышцы в 16 публикациях, а по поперечной — в 4. Среди методик оценки результатов для прямой компрессионной эластографии использовался полуколичественный метод, а при эластографии сдвиговой волной

Таблица 1. Общие сведения о материалах и методах исследований

Table 1. Materials and methods of the reviewed papers

№	Публикация Publication	Методика Method	Пациенты Patients	Контроль Control	Исследуемые мышцы и параметры Studied muscles and parameters
1	Aslan, Analan, 2018	ЭСВ Siemens ЛД 4–9 МГц SWE Siemens LP 4–9 MHz	25 пациентов с ДП, 50 тазобедренных суставов 25 patients, DP, 50 hips	Нет (кроссекционное исследование) No (cross-sectional study)	<i>Mm. gluteus medius, gluteus maximus, adductor magnus, m. iliopsoas.</i> Продольное расположение датчика. ROI – 5 × 5 мм, ССВ (м/с) <i>Mm. gluteus medius, gluteus maximus, adductor magnus, and iliopsoas.</i> Parallel probe positioning. ROI – 5 × 5 mm, SWV (m/s)
2	Bertan et al., 2020	ЭСВ (ARFI) Siemens ЛД 4–9 МГц SWE (ARFI) Siemens LP 4–9 MHz	33 пациента, 49 конечностей, ДП и ГП 33 patients, 49 limbs, DP and HP	Проспективное исследование (БТ) Prospective study (BT)	<i>M. gastrocnemius medialis, m. gastrocnemius lateralis.</i> Продольное расположение датчика. ROI – 5 см ² , ССВ (м/с) <i>M. gastrocnemius medialis, m. gastrocnemius lateralis.</i> Parallel probe positioning. ROI – 5 cm ² , SWV (m/s)
3	Bilgici et al., 2018	SWE Siemens ЛД 4–9 МГц SWE Siemens LP 4–9 MHz	12 пациентов с ДП, 24 конечности 12 patients, DP, 24 limbs	Проспективное исследование (БТ) Prospective study (BT)	<i>M. gastrocnemius medialis.</i> Продольное расположение датчика. ROI – 5 × 5 мм, ССВ (м/с) <i>M. gastrocnemius medialis.</i> Parallel probe positioning. ROI – 5 × 5 mm, SWV (m/s)
4	Boulard et al., 2015	ЭСВ, Aixplorer Supersonic SWE Aixplorer Supersonic	8 пациентов с ГП 8 patients, HP	Непораженная сторона Non-affected limb	<i>M. gastrocnemius medialis</i> в покое и при максимальном пассивном растяжении. МС (кПа). Дополнительно: угол пеннации, толщина мышцы <i>M. gastrocnemius medialis</i> at rest and in passive stretching. MC (kPa). Additionally: pennation angle, muscle thickness
5	Boulard et al., 2021a	ЭСВ, Aixplorer Supersonic SWE, Aixplorer Supersonic	10 пациентов, ГП 10 patients, HP	Непораженная сторона Non-affected limb	<i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior.</i> МС (кПа). Дополнительно: толщина мышцы в нейтральном положении и в различных функциональных положениях <i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior.</i> SM (kPa). Additionally: muscle thickness in neutral and functional positions
6	Boulard et al., 2021b	ЭСВ, Aixplorer Supersonic SWE, Aixplorer Supersonic	11 пациентов, ГП 11 patients, HP	Непораженная сторона Non-affected limb	<i>M. gastrocnemius medialis.</i> Дополнительно: изокинетическая динамометрия <i>M. gastrocnemius medialis.</i> Additionally: isokinetic dynamometry
7	Boyaci et al., 2014	КЭ Mylab Twice ЛД 12 МГц RTE Mylab Twice LP 12 MHz	16 пациентов, ДП и ГП 16 patients, DP and HP	Здоровые дети Healthy control	<i>M. gastrocnemius medialis.</i> ROI – 7,5 × 7,5 мм ² . Продольное расположение датчика. Индекс ELX 2/1, анализ цветовой палитры с помощью графического редактора изображений <i>M. gastrocnemius medialis.</i> ROI – 7.5 × 7.5 mm ² . Parallel probe positioning. ELX 2/1 index, color spectrum analysis
8	Brandenburg et al., 2018	ЭСВ SuperSonic Imagine ЛД 4–15 МГц SWE SuperSonic Imagine LP 4–15 MHz	9 детей, ДП и ГП 9 patients, DP and HP	Проспективное исследование (БТ) Prospective study (BT)	<i>M. gastrocnemius lateralis.</i> Продольное расположение датчика. МС (кПа). Дополнительно: поверхностная электромиография <i>M. gastrocnemius lateralis.</i> Parallel probe positioning. M (kPa). Additionally: surface EMG
9	Brandenburg et al., 2016	ЭСВ SuperSonic Imagine ЛД 4–15 МГц SWE SuperSonic Imagine LP 4–15 MHz	14 детей, ДП и ГП 14 patients, DP and HP	13 здоровых детей 13 healthy controls	<i>M. gastrocnemius lateralis.</i> Продольное расположение датчика. МС (кПа). Дополнительно: поверхностная электромиография <i>M. gastrocnemius lateralis.</i> Parallel probe positioning. MC (kPa). Additionally: surface EMG

Продолжение таблицы 1

Continuation of table 1

№	Публикация Publication	Методика Method	Пациенты Patients	Контроль Control	Изучаемые мышцы и параметры Studied muscles and parameters
10	Corrado et al., 2019	ЭСВ Samsung RS80A ЛД 1–7 МГц SWE Samsung RS80A LP 1–7 MHz	21 ребенок с ГП 21 patients, HP	Проспективное исследование (ЭУВТ 1 раз в неделю 5 нед) Prospective study (ESWT once a week – 5 weeks)	<i>M. soleus.</i> Поперечное расположение датчика. МС (кПа). До, сразу после, через 1, 3 и 6 мес после ЭУВТ <i>M. soleus.</i> Perpendicular probe positioning. SM (kPa). Before immediately and 1, 3, 6 months after ESWT
11	Dağ et al., 2020	ЭСВ LOGIQ E9 (General Electric) ЛД 9 МГц SWE LOGIQ E9 (General Electric) LP 9 MHz	24 пациента, 43 нижние конечности, ДП и ГП 24 patients, 43 limbs, DP and HP	Проспективное исследование (до БТ и через 1 мес) Prospective study (BT – before and after 1 month)	<i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior.</i> Датчик параллельно. ROI – 5 мм ² . МС (кПа) <i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior.</i> Parallel probe positioning. ROI – 5 мм ² . SM (kPa)
12	Analan, Aslan, 2019	ЭСВ Siemens ЛД 4–9 МГц SWE Siemens LP 4–9 MHz	25 пациентов с ДП 25 patients, DP	Нет (кроссекционное исследование) No (cross-sectional study)	<i>Mm. gluteus medius, gluteus maximus, adductor magnus, iliopsoas.</i> Продольное расположение датчика. ROI – 5 × 5 мм. CCB (м/с) <i>Mm. gluteus medius, gluteus maximus, adductor magnus, and iliopsoas.</i> Parallel probe positioning. ROI – 5 × 5 мм. SWV (m/s)
13	Kwon et al., 2012	КЭ Siemens ЛД 4–9 МГц RTE Siemens LP 4–9 МГц	15 детей, 27 конечностей, ДП и ГП 15 patients, 27 limbs, DP and HP	13 здоровых детей 13 healthy controls	<i>M. gastrocnemius medialis, m. soleus.</i> Полуколичественная оценка по цветовой шкале (гистограмма). Продольное расположение датчика <i>M. gastrocnemius medialis, m. soleus.</i> Semi-quantitative (histogram). Parallel probe positioning
14	Lallemant-Dudek et al., 2021	ЭСВ Aixplorer Supersonic ЛД 8 МГц SWE Aixplorer Supersonic LP 8 MHz	16 детей, ДП и ГП 16 patients, DP and HP	29 здоровых детей 29 healthy controls	<i>M. gastrocnemius medialis, m. biceps brachii.</i> В среднем положении (90°) и при растяжении. Продольное расположение датчика. МС (кПа) <i>M. gastrocnemius medialis, m. biceps brachii.</i> Neutral position (90°) and stretching. Parallel probe positioning. SM (kPa)
15	Lee et al., 2016	ЭСВ SuperSonic Aixplorer ЛД 4–15 МГц SWE SuperSonic Aixplorer LP 4–15 MHz	8 детей с ГП 8 patients, HP	Непораженная сторона Non-affected limb	<i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior.</i> ROI – окружность диаметром 12 мм. 5 положений голеностопного сустава. Продольное расположение датчика. CCB (м/с) <i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior.</i> ROI – окружность диаметром 12 мм. 5 ankle positions. Parallel probe positioning SWV (m/s)
16	Park, Kwon, 2012	КЭ Siemens ЛД 5–13 МГц RTE Siemens LP 5–13 MHz	17 детей с ДП и ГП 17 patients, DP and HP	Проспективное исследование (БТ + реабилитация – до лечения и через 4 нед) Prospective study (BT + rehabilitation – before and 4 weeks after)	<i>M. gastrocnemius medialis.</i> Полуколичественная оценка по цветовой шкале (гистограмма). Продольное расположение датчика <i>M. gastrocnemius medialis.</i> Semi-quantitative (histogram). Parallel probe positioning

Окончание таблицы 1
End of table 1

№	Публикация Publication	Методика Method	Пациенты Patients	Контроль Control	Исследуемые мышцы и параметры Studied muscles and parameters
17	Vola et al., 2018	ЭСВ (точечная) Samsung RS80A ultrasound scanner КД 1–7 МГц SWE (точечная) Samsung RS80A ultrasound scanner СР 1–7 МГц	21 пациент с ГП 21 patients, HP	21 здоровый ребенок 21 healthy control	<i>M. soleus</i> . МС (кПа). Поперечное расположение датчика <i>M. soleus</i> . SM (kPa). Perpendicular probe positioning
18	Parvin et al., 2017	ЭСВ Samsung SonoAceX6 ЛД 3–13 МГц SWE Samsung SonoAceX6 LP 3–13 МГц	3 ребенка с ГП 3 patients, HP	1 ребенок с ГП (стандартная реабилитация) 1 patient with HP (standard rehabilitation)	<i>M. gastrocnemius medialis et lateralis, m. tibialis anterior</i> . Продольное и поперечное расположение датчика. ССВ (м/с). Дополнительно: электронейромиография (Н-рефлекс), вызванные двигательные потенциалы <i>M. gastrocnemius medialis et lateralis, m. tibialis anterior</i> . Parallel and perpendicular probe positioning. SWV (m/s). Additional: H-reflex, motor evoked potentials
19	Mansouri et al., 2016	КЭ Samsung SonoAceX6 ЛД 3–13 МГц RTE Samsung SonoAceX6 LP 3–13 МГц	12 детей с ГП 12 patients, HP	Нет No	<i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior</i> . Продольное расположение датчика. Полуколичественный анализ гистограмм <i>M. gastrocnemius medialis, m. tibialis anterior</i> . Parallel probe positioning Semi-quantitative (histogram)
20	Picelli et al., 2017	КЭ MyLab 70 XVision ЛД 13 МГц RTE MyLab 70 XVision LP 13 МГц	10 пациентов с ДП и ГП 10 patients, DP and HP	Проспективное исследование (оценка до и че- рез 1 мес после) Prospective study (before and 1 month after)	Внутренняя группа сгибателей голени, <i>m. gastrocnemius</i> , сгибатели предплечья, сгибатели кисти. Поперечное расположение датчика. Процент жесткости. Полуколичественная шкала Heckmatt Medial hamstrings, <i>m. gastrocnemius</i> , elbow and wrist flexors. Perpendicular probe positioning hardness percentage. Heckmatt scale

Примечание. ЭСВ – эластография сдвиговой волной; КЭ – компрессионная эластография; ЛД – линейный датчик; КД – конвексный датчик; ДП – диплегия; ГП – гемиплегия; БТ – ботулинотерапия; ЭУВТ – экстракорпоральная ударно-волновая терапия; МС – модуль сдвига; ССВ – скорость сдвиговой волны; ROI – зона интереса (region of interest).
Note. SWE – shear wave elastography; RTE – Real Time Elastography; LP – linear probe; CP – convex probe; DP – diplegia; HP – hemiplegia; BT – botulinum therapy; ESWT – extracorporeal shock wave therapy; SM – shear modulus; SWV – shear wave velocity; ROI – region of interest.

оценивались как ее скорость (в м/с), так и модуль сдвига (в кПа). Во всех исследованиях использовался только один прибор и одна методика получения информации.

Наиболее частым анатомическим объектом, который исследовался в проанализированных публикациях, были мышцы голени (18 публикаций из 20 изученных), главным образом компоненты трехглавой мышцы голени, из которых медиальная икроножная мышца была самым частым объектом исследования. В 2 и 3 работах, соответственно, исследовались мышцы плеча [24, 30] и бедра [11, 22, 30].

Таким образом, продемонстрировано отсутствие единого подхода к эластографии мышцы у детей с ДЦП

с точки зрения как техники получения информации, так и ее анализа и интерпретации.

На 2-м этапе нами был проведен анализ содержания и результатов исследований. С точки зрения постановки цели исследования все анализированные работы можно разделить на 2 группы: исследования, посвященные оценке возможности метода ультразвуковой эластографии при ДЦП (табл. 2), и исследования, посвященные возможности оценки результатов лечения при рассматриваемом заболевании (табл. 3). Особо в этой группе источников следует упомянуть исследования, опубликованные одной группой авторов, посвященные применению эластографии сдвиговой волной параллельно с рентгенологической оценкой

Таблица 2. Результаты исследования информативности методики эластографии мышц у детей с детским церебральным параличом
Table 2. Basic parameters of muscle sonoelastography in children with cerebral palsy

Публикация Publication	Результаты Results
Boulard, Gautheron, Lapole, 2021; Boulard et al., 2021; Boulard et al., 2021	Модуль сдвига был значительно выше на паретичной стороне. Эластография отражает мышечную атрофию и изменение жесткости мышцы. Внутриэкспертная надежность хорошая в покое и хуже при напряжении мышцы SM was significantly higher on the paretic side. Elastography reflects muscle atrophy and changes in elasticity. Intra-rater reliability was good at rest, worse with muscle tension
Brandenburg et al., 2016	При всех углах (0, 10, 20) МС был выше у детей с детским церебральным параличом At all angles (0, 10, 20) SM was higher in children with cerebral palsy
Kwon et al., 2012	Общие показатели эластографии отличались достоверно – среднее количество красных пикселей и ССВ были выше в группе детей с детским церебральным параличом. Оба показателя коррелировали со спастичностью по шкале Эшворта Elastography data were significantly different – the average number of red pixels and SWV were higher in the group of children with cerebral palsy. Both indicators correlated with spasticity according to Ashworth scale
Lallemant-Dudek et al., 2021	Внутриэкспертная и межэкспертная надежность были достаточно высокими. Модуль сдвига в покое не имел значимых различий между мышцами и группами. При растяжении модуль сдвига икроножной мышцы был достоверно выше по сравнению со здоровыми детьми и здоровой стороной (соответственно $8,8 \pm 4,1$; $2,9 \pm 0,7$ и $5,0 \pm 0,9$ кПа, $p = 0,05$). Для двуглавой мышцы значимых различий обнаружено не было. Не было выявлено корреляций со шкалой Эшворта, MACS, GMFCS Intra-rater and inter-rater reliability were high enough. Shear modulus at rest did not show significant differences between muscles and groups. During stretching, the shear modulus of the gastrocnemius muscle was significantly higher compared with healthy children and the healthy side (8.8 ± 4.1 kPa, 2.9 ± 0.7 kPa and 5.0 ± 0.9 kPa, $p = 0.05$, respectively). For the biceps muscle, no significant differences were found. No correlations were found with Ashworth scale, MACS, GMFCS
Lee et al., 2016	ССВ была на 14–20 % выше на пораженной стороне (<i>m. gastrocnemius medialis</i> – 5,05 и 4,46 м/с, <i>m. tibialis anterior</i> – 3,86 и 3,22 м/с). Не было выявлено корреляций между ССВ, амплитудой движения и GMFCS. Повышение ССВ сопровождало увеличение растяжения мышцы, момента силы и натяжение фасцикул. Авторы связывают повышение ССВ с изменением пассивного растяжения мышцы больше, чем с активными факторами (гиперрефлексия, гипертонус) SWV was 14–20 % higher on the affected side (<i>m. gastrocnemius medialis</i> – 5.05 m/s and 4.46 m/s; <i>m. tibialis anterior</i> – 3.86 m/s and 3.22 m/s). No correlations were found between SWV, range of motion and GMFCS. The increase in SWV was accompanied by an increase in muscle stretching, torque, and fascicular tension. The authors associate the increase in SWV with changes in passive muscle stretching more than with active factors (hyperreflexia, spasticity)
Vola et al., 2018	Модуль сдвига значительно выше при детском церебральном параличе ($8,1 \pm 2,3$ кПа) по сравнению со здоровыми пациентами ($4,8 \pm 1,7$ кПа). Сильная корреляция (0,74) со шкалой Эшворта Shear modulus was significantly higher in cerebral palsy (8.1 ± 2.3 kPa) compared with healthy controls (4.8 ± 1.7 kPa). Strong correlation (0.74) with Ashworth scale
Mansouri et al., 2016	Корреляция пространственно-временных параметров ходьбы (длительности цикла шага) с параметрами эластографии Correlation of spatio-temporal gait parameters with elastography parameters

Примечание. МС – модуль сдвига; ССВ – скорость сдвиговой волны; MACS – система классификации мануальных навыков; GMFCS – система классификации глобальных двигательных функций.

Note. SM – shear modulus; SWV – shear wave velocity; MACS – Manual ability classification system; GMFCS – gross motor function classification system.

риска прогрессирования подвывиха бедра у детей с ДЦП [11, 22], которые показали корреляцию индекса миграции (процент поперечника оссифицированной части проксимального эпифиза бедренной кости, не перекрывающийся сводом вертлужной впадины) со снижением эластичности аддукторов и сгибателей бедра.

Как показывают приведенные в табл. 3 данные, все проанализированные исследования продемонстрировали значимые отличия параметров эластографии пораженных мышц как при сравнении с непораженной

стороной у детей гемипаретической формой, так и при сравнении с контрольной группой здоровых детей при ее наличии. Эти изменения характеризовались повышением скорости прохождения сдвиговой волны и модуля упругости, что отражало снижение эластичности мышечной ткани. Более детальные данные по публикациям приведены в табл. 2.

Особый интерес представляют публикации, в которых отражены результаты оценки эффективности различного рода вмешательств с целью воздействия на пораженные мышцы (см. табл. 3), при этом эластография

Таблица 3. Результаты использования эластографии мышц для оценки эффективности лечения у детей с детским церебральным параличом
Table 3. Muscle sonoelastography in assessment of the results of treatment in children with cerebral palsy

Публикация Publication	Результаты Results
Aslan, Analan, 2018	Исучена жесткость мышц тазобедренного сустава у детей с различным прогрессированием подвывиха бедра. Корреляция со снижением эластичности аддукторов и сгибателей. Эластография может являться дополнительным источником информации при прогнозировании патологии тазобедренных суставов Stiffness of the muscles of the hip joint in children with different stages of hip subluxation. Correlation of migration percentage with stiffness of adductors and flexors was found. Elastography can be an additional tool for predicting the pathology of the hip joints
Bertan et al., 2020	При оценке на 1-м и 3-м месяце в основной группе (БТ + реабилитация) отмечалось статистически значимое изменение параметров эластографии только через месяц после инъекции. В контрольной группе (реабилитация) различий не было 1 and 3 months after BT injection in the main group (BT + rehabilitation) there was a statistically significant change of the elastography only 1 month after the injection. There were no differences in the control group (rehabilitation)
Bilgici et al., 2018	Через 1 мес после лечения – достоверно значимое снижение процента жесткости ($3,20 \pm 0,14$ и $2,45 \pm 0,21$ м/с) 1 month after treatment – significant decrease in hardness percentage (3.20 ± 0.14 m/s and 2.45 ± 0.21 m/s)
Brandenburg et al., 2018	МС достоверно уменьшался через месяц и не имел достоверных различий через 3 мес после БТ. При этом тыльная флексия не изменялась статистически значимо. Авторы предполагают, что помимо спастичности в формировании контрактуры играет роль нарушение способности мышечной ткани к адаптации вследствие уменьшения количества саркомеров и увеличения их длины SM significantly decreased after 1 month and had no significant differences 3 months after BT. At the same time, dorsiflexion did not change significantly. The authors suggest that, in addition to spasticity, loss of adaptive function of the muscle due to decreased number of sarcomeres and increase in their length plays a role in the contracture
Corrado et al., 2019	Эластичность увеличивалась вплоть до 9-й недели после окончания процедур ЭУВТ, затем снижалась до исходного уровня к 24-й неделе Elasticity increased up to 9 weeks after ESWT procedures, then decreased to baseline by 24 weeks
Dağ et al., 2020	Среднее значение МС медиальной икроножной мышцы до инъекции БТ – $45,9 \pm 6,5$ кПа, после инъекции – $25,0 \pm 5,7$ кПа. Отмечено также достоверное снижение МС передней большеберцовой мышцы, в которую не проводили инъекцию The average values of SM of the medial gastrocnemius muscle before BT injection were 45.9 ± 6.5 kPa, after injection – 25.0 ± 5.7 kPa. There was also a significant decrease in the SM index of the tibialis anterior muscle, which was not injected
Park, Kwon, 2012	Достоверное увеличение эластичности после БТ по авторской шкале, снижение напряжения тканей по результатам гистограммы анализа цвета. Результаты по шкале Эшворта коррелировали с показателями эластографии Significant increase in elasticity after BT according to the author's scale, a decrease in muscle stiffness according to the histogram. Ashworth scale correlated with elastography data
Parvin et al., 2017	Увеличение ССВ после тренировок на антигравитационной беговой дорожке Increased SWV after anti-gravity treadmill training
Picelli et al., 2017	Оценка до лечения и через 1 мес после БТ/БТ + ЭУВТ. После лечения не показано значимых изменений по шкале Heckmatt. Достоверно значимое снижение процента жесткости было в группе получавших БТ + ЭУВТ Assessment before treatment and 1 month after BT/BT + ESWT. No significant Heckmatt change after treatment. Significant decrease in hardness percentage was in the group receiving BT + ESWT

Примечание. БТ – ботулинотерапия; ЭУВТ – экстракорпоральная ударно-волновая терапия; МС – модуль сдвига; ССВ – скорость сдвиговой волны.

Note. BT – botulinum therapy; ESWT – extracorporeal shock wave therapy; SM – shear modulus; SWV – shear wave velocity.

использовалась в качестве одного из методов оценки. Наиболее часто, что вполне закономерно, эластография использовалась для оценки результатов ботулинотерапии [12, 13, 18, 21, 26]. В большинстве случаев авторами анализировались параметры эластографии до лечения и на различных этапах после инъекции. Кроме того, были проведены исследования, в которых эластография использовалась в качестве метода оценки после ударно-волновой терапии [20, 30]

и применения антигравитационной беговой дорожки [28].

Как показывают данные табл. 3, все публикации констатировали в результате терапевтических воздействий изменение параметров, которые анализировались соответствующим методом. При этом в тех случаях, когда результаты оценивались достаточно длительно, было отмечено, что эластография констатирует нелинейный характер этих изменений: так,

в исследовании было показано, что максимальные изменения происходили через 9 нед после процедуры, а в сроки 24 нед параметры соответствовали исходному уровню [20].

Отсутствие объективных количественных параметров непосредственного определения механических показателей мышц у детей с ДЦП является одним из ключевых факторов, затрудняющих проведение масштабных мультицентровых исследований, посвященных оценке эффективности тех или иных методов лечения, а также патогенезу ряда двигательных нарушений. Имеющиеся на сегодняшний день методики оценки мышечного тонуса весьма субъективны и носят полуколичественный характер. Эластография является дополнительной функцией в большинстве современных приборов ультразвуковой диагностики. Доступность и безопасность этого метода делает необходимой оценку возможности использования данного функционала в повседневной практике при обследовании и лечении детей с ДЦП. Проведенный нами систематический анализ литературы показал, что исследование механических свойств скелетных мышц у детей с ДЦП с помощью ультразвуковой эластографии на данный момент нельзя считать подходящим в качестве рутинного исследования. Тем не менее в исследовательских целях данный метод показал свою информативность: все анализируемые нами публикации продемонстрировали существенное отличие показателей эластографии как при сравнении пораженных мышц с мышцами непораженной конечности или здоровых детей, так и при исследовании после проведения различных терапевтических воздействий, направленных на снижение тонуса и ретракции мышцы.

Поскольку представляемые с помощью эластографии сдвиговой волны данные носят количественный характер, они могут быть выражены в единицах системы СИ. На наш взгляд, этот метод имеет преимущество перед компрессионной эластографией с точки зрения возможности использования в научных исследованиях.

В то же время компрессионная эластография позволяет лучше визуализировать мышцу на ее протяжении с представлением ее изменений в графическом виде. Возможно, данная методика более приемлема для клинической практики с целью глобальной оценки полученных данных.

Интересно, что анализ корреляций полученных данных с клиническими показателями не выявил однозначной закономерности: одни авторы обнаружили прямую зависимость между параметрами спастичности и изменениями показателей эластографии [23], тогда как другие исследователи не выявили подобной закономерности [24]. Возможно, это связано с различными критериями включения в исследованные группы. Кроме того, по нашему мнению, это может быть обусловлено разнонаправленными патологическими процессами в мышечной ткани: ретракция и фиброз могут носить самостоятельный характер, играя роль в патогенезе контрактур параллельно. Дальнейшее изучение этой проблемы требует не только оценки роли нейрофизиологических механизмов формирования контрактур (спастичности), но и изучения изменений реологических свойств мышечной ткани в этом процессе. В данном случае эластография представляет достаточно широкие возможности.

Проведенный нами анализ продемонстрировал отсутствие унифицированного протокола обследования, что затрудняет сравнение данных различных исследований. Кроме того, используемые в различных приборах технологии, несмотря на представление полученных данных в стандартных единицах, требуют валидации в сравнительных исследованиях. В целом эластография мышц у детей с ДЦП является перспективным методом исследования состояния мышечной ткани, требующим дальнейшего развития. Совершенствование технологии, методик получения изображения и его обработки, стандартизация техники позволяют в дальнейшем расширить область применения данного метода.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ключкова О.А., Куренков А.Л., Кенис В.М. Формирование контрактур при спастических формах детского церебрального паралича: вопросы патогенеза. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста 2018;6(1):58–66. [Klochkova O.A., Kurenkov A.L., Kenis V.M. Development of contractures in spastic forms of cerebral palsy: Pathogenesis and prevention. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya hirurgiya detskogo vozrasta = Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery* 2018;6(1):58–66. (In Russ.)]. DOI: 10.17816/PTORS6158-66.
2. Suresh N., Garg D., Pandey S. et al. Spectrum of movement disorders and correlation with functional status in children with cerebral palsy. *Indian J Pediatr* 2021;abstr.1070. DOI: 10.1007/s12098-021-03785-7.
3. Куренков А.Л., Батышева Т.Т., Виноградов А.В., Зюзьева Е.К. Спастика при детском церебральном параличе: диагностика и стратегии лечения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова* 2012;112(7–2):24–8. [Kurenkov A.L., Batysheva T.T., Vinogradov A.V., Zuzjaeva E.K. Spasticity in cerebral palsy: diagnosis and treatment strategies. *Zhurnal nevrologii i psixiatrii im. S.S. Korsakova = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry* 2012;112(7–2):24–8. (In Russ.)].
4. Wu C., Wang T. Measurement of muscle stiffness in children with spastic cerebral palsy. *Radiology* 2012;265:647. DOI: 10.1148/radiol.12121223.
5. Тишин А.А., Кузнецов С.Н. Основные принципы и методы ультразвуковой эластографии. *Электронные информационные системы* 2019;(2):21–32. [Tishin A.A., Kuznetsov S.N. Basic

- principles and methods of ultrasonic elastography. *Elektronnyye informacionnyye sistemy* = Electronic information systems 2019;(2):21–32. (In Russ.).
6. Изранов В.А., Казанцева Н.В., Мартинович М.В. и др. Физические основы эластографии печени. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки* 2019;(2):69–87. [Izranov V.A., Kazantseva N.V., Martinovich M.V. et al. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta* = Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and Medical Sciences 2019;(2):69–87. (In Russ.).]
 7. Ophir J., Céspedes I., Ponnekanti H. et al. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging* 1991;13(2):111–34. DOI: 10.1177/016173469101300201.
 8. Постнова Н.А., Борсуков А.В., Морозова Т.Г. и др. Компрессионная эластография печени: методика, особенности получения эластограмм, анализ ошибок и артефактов (лекция). *Радиология-практика* 2015;50(2):45–54. [Postnova N.A., Borsukov A.V., Morozova T.G. et al. Compression elastography of the liver: technique, production features elastograms, analysis of errors and artifacts (lecture). *Radiologiya-praktika* = Radiology-practice 2015;50(2):45–54. (In Russ.).]
 9. Шикина Е.С., Паршин В.С. Возможности компрессионной эластографии и эластографии сдвиговой волны в дифференциальной диагностике доброкачественных узловых образований и при папиллярном раке щитовидной железы. *Диагностическая и интервенционная радиология* 2016;10(4):28–34. [Shikina E.S., Parshin V.S. Possibilities of compression elastography and shear wave elastography in differential diagnosis of benign nodules and papillary thyroid cancer. *Diagnosticheskaya i intervencionnaya radiologiya* = Diagnostic and interventional radiology 2016;10(4):28–34. (In Russ.).]
 10. Miller T., Ying M., Sau Lan Tsang C. et al. Reliability and validity of ultrasound elastography for evaluating muscle stiffness in neurological populations: a systematic review and meta-analysis. *Phys Ther* 2021;101(1):pzaa188. DOI: 10.1093/ptj/pzaa188.
 11. Aslan H., Analan P.D. Is there a correlation between Reimers' hip migration percentage and stiffness of hip muscles measured by shear wave elastography in children with cerebral palsy? *Ann Phys Rehab Medicine* 2018;61:e304.
 12. Bertan H., Oncu J., Vanli E. et al. Use of shear wave elastography for quantitative assessment of muscle stiffness after botulinum toxin injection in children with cerebral palsy. *J Ultrasound Med* 2020;39(12):2327–37. DOI: 10.1002/jum.15342.
 13. Ceyhan Bilgici M., Bekci T., Ulus Y. et al. Quantitative assessment of muscle stiffness with acoustic radiation force impulse elastography after botulinum toxin A injection in children with cerebral palsy. *J Med Ultrasonics* 2018;45(1):137–41. DOI: 10.1007/s10396-017-0780-y.
 14. Boulard C., Mathevon L., Lapole T. et al. Analysis of reproducibility of 2D Ultrasound imaging with transient ShearWave Elastography on spastic gastrocnemius medialis muscle in children with spastic hemiplegic cerebral palsy. *Ann Phys Rehabil Med* 2015;58:e76. DOI: 10.1016/j.rehab.2015.07.186.
 15. Boulard C., Mathevon L., Arnaudeau L.F. et al. Reliability of Shear Wave Elastography and Ultrasound Measurement in Children with Unilateral Spastic Cerebral Palsy. *Ultrasound Med Biol* 2021;47(5):1204–11. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2021.01.013.
 16. Boulard C., Gautheron V., Lapole T. Mechanical properties of ankle joint and gastrocnemius muscle in spastic children with unilateral cerebral palsy measured with shear wave elastography. *J Biomech* 2021;124:110502. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2021.110502.
 17. Boyaci A., Tutoglu A., Boyaci N. et al. Changes in spastic muscle stiffness after botulinum toxin A injections as part of rehabilitation therapy in patients with spastic cerebral palsy. *Neuro Rehabil* 2014;35(1):123–9. DOI: 10.3233/NRE-141107.
 18. Brandenburg J.E., Eby S.F., Song P. et al. Quantifying effect of onabotulinum toxin a on passive muscle stiffness in children with cerebral palsy using ultrasound shear wave elastography. *Am J Phys Med Rehabil* 2018;97(7):500–6. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000907.
 19. Brandenburg J.E., Eby S.F., Song P. et al. Quantifying passive muscle stiffness in children with and without cerebral palsy using ultrasound shear wave elastography. *Dev Med Child Neurol* 2016;58(12):1288–94. DOI: 10.1111/dmcn.13179.
 20. Corrado B., Albano M., Caprio M.G. et al. Usefulness of point shear wave elastography to assess the effects of extracorporeal shockwaves on spastic muscles in children with cerebral palsy: an uncontrolled experimental study. *MLTJ* 2019;9(1):124–30. DOI: 10.32098/mltj.01.2019.04.
 21. Dağ N., Cerit M.N., Şendur H.N. et al. The utility of shear wave elastography in the evaluation of muscle stiffness in patients with cerebral palsy after botulinum toxin A injection. *J Med Ultrason* (2001) 2020;47(4):609–15. DOI: 10.1007/s10396-020-01042-6.
 22. Analan P., Aslan H. Association between the elasticity of hip muscles and the hip migration index in cerebral palsy. *J Ultrasound Med* 2019;38(10):2667–72. DOI: 10.1002/jum.14969.
 23. Kwon D.R., Park G.Y., Lee S.U., Chung I. Spastic cerebral palsy in children: dynamic sonoelastographic findings of medial gastrocnemius. *Radiology* 2012;263(3):794–801. DOI: 10.1148/radiol.12102478.
 24. Lallemand-Dudek P., Vergari C., Dubois G. et al. Ultrasound shearwave elastography to characterize muscles of healthy and cerebral palsy children. *Sci Rep* 2021;11(1):3577. DOI: 10.1038/s41598-021-82005-w.
 25. Lee S.S., Gaebler-Spira D., Zhang L.Q. et al. Use of shear wave ultrasound elastography to quantify muscle properties in cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2016;31:20–8. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2015.10.006.
 26. Park G.Y., Kwon D.R. Sonoelastographic evaluation of medial gastrocnemius muscles intrinsic stiffness after rehabilitation therapy with botulinum toxin a injection in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Medicine Rehab* 2012;93(11):2085–9. DOI: 10.1016/j.apmr.2012.06.024.
 27. Vola E.A., Albano M., Di Luise C. et al. Use of ultrasound shear wave to measure muscle stiffness in children with cerebral palsy. *J Ultrasound* 2018;21(3):241–7. DOI: 10.1007/s40477-018-0313-6.
 28. Parvin S., Taghiloo A., Irani A., Mirbagheri M.M. Therapeutic effects of anti-gravity treadmill (AlterG) training on reflex hyper-excitability, corticospinal tract activities, and muscle stiffness in children with cerebral palsy. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2017;2017:485–90. DOI: 10.1109/ICORR.2017.8009295.
 29. Mansouri M., Birgani P.M., Kharazi M.R. et al. Estimation of gait parameter using sonoelastography in children with cerebral palsy. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Ann Int Conference* 2016;2016:1729–32. DOI: 10.1109/embc.2016.7591050.
 30. Picelli A., La Marchina E., Gajofatto F. et al. Sonographic and clinical effects of botulinum toxin Type A combined with extracorporeal shock wave therapy on spastic muscles of children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil* 2017;20(3):160–4. DOI: 10.3109/17518423.2015.1105320.

Вклад авторов

В.М. Кенис: разработка концепции и дизайна исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи;
А.В. Сапоговский, Е.В. Мельченко, А.И. Шубина, М.В. Журбицкая: анализ и интерпретация данных;
О.Е. Агранович: окончательное утверждение версии статьи.

Authors' contributions

V.M. Kenis: development of the concept and design of the study, collection, analysis and interpretation of data, writing the text of the article;
A.V. Sapogovskiy, E.V. Melchenko, A.I. Shubina, M.V. Zhurbitskaya: analysis and interpretation of data;
O.E. Agranovich: final approval of the version of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

В.М. Кенис / V.M. Kenis: <https://orcid.org/0000-0002-7651-8485>
А.В. Сапоговский / A.V. Sapogovskiy: <https://orcid.org/0000-0002-5762-4477>
Е.В. Мельченко / E.V. Melchenko: <https://orcid.org/0000-0003-1139-5573>
О.Е. Агранович / O.E. Agranovich: <https://orcid.org/0000-0002-6655-4108>
А.И. Шубина / A.I. Shubina: <https://orcid.org/0000-0001-7843-9564>
М.В. Журбицкая / M.V. Zhurbitskaya: <https://orcid.org/0000-0003-3834-2463>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Государственное бюджетное финансирование.

Financing. State budget funding.

Статья поступила: 27.12.2021. **Принята к публикации:** 26.01.2022.

Article submitted: 27.12.2021. **Accepted for publication:** 26.01.2022.