



СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ДЕТЕЙ ПРИ ЦЕРЕБРАЛЬНОМ ПАРАЛИЧЕ В СРАВНЕНИИ СО ЗДОРОВЫМИ СВЕРСТНИКАМИ

А.О. ТРОФИМОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. М. Ульяновой, д. 6, г. Курган, 640014, Россия

Аннотация. Цель исследования – сравнение показателя контрактильности мышц (по данным ультразвукового исследования), абсолютных и относительных значений силы мышц нижних конечностей у детей с детским церебральным параличом *GMFCS I* в сравнении со здоровыми сверстниками **Материалы и методы исследования.** Обследованы группы: I – здоровые дети (6 человек), 11,0±0,5 года; II – пациенты (7 человек) со спастическими формами церебрального паралича, *GMFCS I*. Методики исследования: динамометрия (стенды для тестирования мышц бедра и голени, разработанные в Центре Илизарова), ультрасонография. Объект исследования: передняя и задняя группы мышц бедра и голени. **Результаты и их обсуждение.** У пациентов детским церебральным параличом *GMFCS I* угол наклона пучка *m. Gastrocnemius* достоверно не отличался от значений нормы, как на стороне акцента, так и на контралатеральной конечности. Функциональная проба с произвольным напряжением мышцы выявила достоверное снижение расчётного показателя контрактильности на обеих конечностях. На контралатеральной конечности не выявлено достоверного снижения абсолютного и относительного моментов силы сгибателей/разгибателей голени и стопы в сочетании с сонографическими признаками сохранности мышечного объема. На конечности акцент – патологии достоверно уменьшена площадь поперечного сечения мышц тыльных и подошвенных сгибателей стопы – на 37,0% ($p=0.0054$). Относительно здоровых сверстников абсолютные и относительные силовые параметры мышц сгибателей/разгибателей стопы достоверно снижены (на 60% – 85%, $p=0,02$), и отсутствует статически значимое различие мышц сгибателей / разгибателей голени относительно здоровых сверстников. **Выводы.** Снижение контрактильности мышц, абсолютного и относительного моментов силы мышц тыльных и подошвенных сгибателей стопы в сочетании с сонографическими признаками потери саркомеров, свидетельствуют о структурно-функциональном нарушении моторного аппарата только дистальных сегментов.

Ключевые слова: сила мышц, УЗИ мышц, динамометрия.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE LOWER MUSCLES OF LIMB IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY IN COMPARISON WITH HEALTHY PEERS

A.O. TROFIMOV

Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, M. Ulyanovoy Str., 6, Kurgan, 640014, Russia

Abstract. The research purpose was to compare the index of muscle contractility (according to ultrasound data), absolute and relative values of lower limb muscle strength in children with cerebral palsy GMFCS I in comparison with healthy peers. **Materials and research methods.** Two groups were examined: I – healthy children (6 people), 11.0±0.5 years old; II - patients (7 people) with spastic forms of cerebral palsy, GMFCS I. Research methods were dynamometry (test stands for thigh and lower leg muscles developed at the Ilizarov Center), ultrasonography. Object of study was anterior and posterior muscle groups of the thigh and lower leg. Results and its discussion. In patients with cerebral palsy GMFCS I beam angle *m. Gastrocnemius* did not differ significantly from the normal values, both on the accent side and on the contralateral limb. A functional test with voluntary muscle tension revealed a significant decrease in the estimated index of contractility in both limbs. On the contralateral limb, there was no significant decrease in the absolute and relative moments of force of the flexors/extensors of the lower leg and foot in combination with sonographic signs of the preservation of muscle volume. The emphasis on the extremity - pathology - significantly reduced the cross-sectional area of the muscles of the dorsal and plantar flexors of the foot - by 37.0% ($p=0.0054$). In relatively healthy peers, the absolute and relative strength parameters of the flexor/extensor muscles of the foot were significantly reduced (by 60% - 85%, $p=0.02$), and there was no statistically significant difference in the flexor/extensor muscles of the lower leg

relative to healthy peers. **Conclusions.** A decrease in muscle contractility, absolute and relative moment of force of the muscles of the dorsal and plantar flexors of the foot, in combination with sonographic signs of loss of sarcomeres, indicate a structural and functional impairment of the motor apparatus only in the distal segments.

Keywords: muscle strength, muscle ultrasound, dynamometry.

Мышечная слабость является основным компонентом *детского церебрального паралича* (ДЦП), который способствует функциональной инвалидности. По данным литературы при ДЦП мышцы структурно, биологически и механически отличаются от мышц нормально развивающихся детей того же возраста. У пациентов ДЦП I-II уровня по *GMFCS* сила мышц нижних конечностей, оцененная в баллах, коррелирует с нарушениями походки и патологическими моделями ходьбы [1, 5]. Размер мышц, как правило, уменьшен в спастических мышцах по сравнению с мышцами в контрольных группах здоровых детей того же возраста. *Noble J.J.* с соавторами дефицит мышечного объема оценили, в среднем, на 27,9% [12], а *Matthiasdottir S.* с соавторами – в среднем на 43% у самостоятельно передвигающихся детей со спастической формой ДЦП, не уточняя уровень функциональной активности [10].

Существует как минимум четыре механических и структурных причины снижения потенциала активной силы спастических скелетных мышц у детей с ДЦП [13]:

- 1 – анатомическое уменьшение размера мышц;
- 2 – уменьшение относительного объема сократительной ткани;
- 3 – увеличение длины саркомера. Возможность саркомера сократиться и развить усилие зависит от начальных условий. Если саркомер изначально растянут, то мостики не перекрываются с актиновыми нитями и при стимуляции такого элемента, генерация силы не формируется;
- 4 – потеря саркомерного белка – *титин* (коннектин), который играет важную роль в процессе сокращения поперечно-полосатых мышц.

Прямым показателем максимальной силовой способности является физиологическая площадь поперечного сечения, а не объем мышц. Существует два основных механизма, приводящих к уменьшению количества сократительной ткани на единицу площади поперечного сечения мышцы:

- 1 – за счет фиброза (т. е. увеличения внутримышечной соединительной ткани) [6];
- 2 – за счет замещения мышечную ткань другими тканями, в первую очередь жировой [9].

Уменьшение количества сократительной ткани (числа саркомеров) связано с меньшей контрактностью мышцы, что так же способствует дальнейшему снижению возможности ею генерировать силу [4, 8]. При ассоциированной мышечной спастичности актуальна оценка силовых параметров мышц при учёте её структуры и физиологической площади поперечного сечения.

Цель исследования – сравнение показателя контрактности мышц (по данным *ультразвукового исследования* (УЗИ)), абсолютных и относительных значений силы мышц нижних конечностей у детей ДЦП *GMFCS I* в сравнении со здоровыми сверстниками.

Материалы и методы исследования. Обследованы две группы:

- 1 – здоровые дети (12 человек, 24 конечности), средний возраст $11,0 \pm 0,5$ года (от 10 до 14 лет);
- 2 – пациенты (14 человек, 28 конечностей), средний возраст $11,2 \pm 0,6$ года (от 8 до 14 лет).

Критерий включения: пациенты со спастической гемиплегией церебрального паралича, с двигательными нарушениями, соответствовавшими уровню I по *GMFCS*, с выделением конечности – акцент патологии и контралатеральной, ранее не лечившиеся консервативными и хирургическими методами.

Критерий исключения: пациенты с билатеральными спастическими формами церебрального паралича уровень II-III по *GMFCS*.

Методики исследования: динамометрия, ультрасонография.

Объект исследования: передняя и задняя группы мышц бедра и голени обеих конечностей.

Аппаратурное обеспечение: программно-аппаратный комплекс УЗИ *LOGIQ 5 Pro*, динамометрические стенды для тестирования мышц бедра и голени, разработанные в Центре Илизарова [2, 3].

Анализовались: максимальный момент силы (MF , Н*м) и относительно массы тела момент силы (MF , Н*м/кг) мышц разгибателей/сгибателей голени и стопы. По данным УЗИ регистрировалась площадь поперечного сечения (S см²) передней и задней групп мышц бедра и голени. Для оценки контрактности мышц использовалась функциональная пробы с произвольным напряжением мышц. Оценка угла наклона соединительно тканной прослойки проводилась у *m. Gastrocnemius*, т.к. она является одноперистой - волокна мышцы выровнены в одном направлении и под определенным углом к длинной оси мышцы. Угол пучка представлял собой положительный угол между глубоким апоневрозом и линией пучка, обозначенный пересекающимися линиями (рис. 1, 2).

Вычисляли:

– силовой индекс антагонистов (FA) мышц голени и стопы: $FA = MF_1 / MF_2$, где MF_1 – подошвенные сгибатели стопы и разгибатели голени; MF_2 – тыльные сгибатели стопы и сгибатели голени;

– относительный площади мышц момент силы (oMF) – абсолютное значение максимального момента силы данной мышечной группы (MF), отнесенное к площади её поперечного сечения (S): $oMF = MF/S$.

Обработка полученных данных производилась с помощью программы статистической надстройки *AtteStat* в *Microsoft EXCEL-2010*. Учитывая, количество наблюдений в группах, для обработки результатов использована непараметрическая статистика с принятием уровня значимости $p \leq 0,05$. Количественные характеристики выборочных совокупностей представлены в таблице в виде медианы с уровнем распределения процентилей 25% ÷ 75% и числа наблюдений (n), равного числу конечностей. Статистическую значимость различий определяли с использованием непарного критерия Вилкоксона.

На проведение исследований было получено разрешение комитета по этике при ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова». № 2(70) от 21.10.2021.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 и на рис. 1, 2 представлены сонографические и динамометрические параметры мышц для пациентов с ДЦП и здоровых детей. Родители детей, участвовавших в исследовании, присутствовали при его проведении, подтверждали информированное согласие на его проведение и публикацию результатов исследований без идентификации личности.

Таблица 1

Функциональное состояние мышц нижних конечностей у больных ДЦП *GMFCS I* (Me 25% ÷ 75%, n – число наблюдений)

	здоровые	Больные	
	$n=24$	конечность контралатеральная $n=14$	конечность – акцент $n=14$
Разгибатели стопы (тыльные сгибатели стопы)			
Площадь поперечного сечения мышц, $см^2$	16,9(14,1÷18,8)	13,6(11,7÷13,7)	11,3(10,6÷12,8) $P^2=0,0054$
H^*M	29,1 (17,8÷40,0)	18,2 (15,6÷18,6)	10,2 (8,4÷13,1) $P^2=0,038$
$H^*M/кг$	0,66 (0,56÷0,72)	0,49(0,41÷0,55) $P^1=0,038$	0,24(0,22÷0,39) $P^2=0,020$
$H^*M/см^2$	1,43 (1,01÷2,48)	1,32 (1,09÷1,52)	0,83 (0,65÷1,22)
Сгибатели стопы (подошвенные сгибатели стопы)			
Угол наклона мышечных волокон <i>m. gastrocnemius</i>	18,1 (14,0÷20,5)	21,0 (19,1÷23,2)	19,1 (14,5÷21,8)
Контрактильность, % <i>m. gastrocnemius</i>	38,9 (36,6÷41,1)	16,9 (16,3÷25,7) $P^1=0,037$	15,7 (14,4÷18,5) $P^2=0,030$
Площадь поперечного сечения мышц, $см^2$	33,2 (27,7÷36,9)	26,7 (22,9÷26,9)	22,1 (20,8÷25,1) $P^2=0,0054$
H^*M	57,5 (28,0÷66,4)	27,6 (20,0÷31,6)	10,9 (9,8÷23,6) $P^2=0,013$
$H^*M/кг$	1,05 (0,79÷1,28)	0,73 (0,55÷0,87)	0,33 (0,28÷0,62) $P^2=0,03$
$H^*M/см^2$	1,67 (0,72÷1,78)	1,11 (0,75÷1,16)	0,52 (0,42÷0,97)
Индекс антагонистов мышц голени	1,86 (1,38÷2,0)	1,68 (1,33÷1,89)	1,15 (1,08÷2,3)
Разгибатели голени			
Площадь поперечного сечения мышц	27,0 (22,2÷49,6)	26,4 (21,6÷35,8)	23,6 (19,0÷32,2)
H^*M	57,6 (31,7÷81,6)	37,0 (32,0÷43,2)	35,0 (28,4÷42,5)
$H^*M/кг$	1,52 (1,09÷1,64)	1,04 (0,89÷1,28)	0,96 (0,87÷1,10)
$H^*M/см^2$	1,92 (1,39÷2,06)	1,28 (1,07÷1,64)	1,24 (1,21÷1,31)
Сгибатели голени			
Площадь поперечного сечения мышц	36,4 (30,8÷56,2)	36,3 (33,8÷46,6)	30,3 (28,7÷39,7)
H^*M	49,8 (22,1÷65,6)	25,2 (17,2÷32,8)	24,7 (23,0÷29,5)
$H^*M/кг$	1,03 (0,73÷1,15)	0,82 (0,45÷0,94)	0,69 (0,57÷0,88)
$H^*M/см^2$	0,94 (0,61÷1,43)	0,51 (0,40÷0,92)	0,74 (0,56÷0,90)
Индекс антагонистов мышц бедра	1,42 (1,11÷1,58)	1,53 (1,20÷1,74)	1,30 (1,10÷1,68)

Примечание: P^1 – контралатеральная конечность относительно значений здоровых
 P^2 – конечность – акцент патологии относительно значений здоровых

У пациентов ДЦП по сравнению со здоровыми сверстниками за счет фиброза и замещения мышечной ткани другими тканями акустическая плотность мышечной ткани повышена и определяется тяжестью поражения – больше на конечности с акцент- патологией. Преобладание эхопозитивного сигнала делала затрудненным дифференцировку мышечных головок, но был сохранен мышечный рисунок (рис. 1, 2). При уровне I по *GMFCS* угол наклона соединительно тканной прослойки *m. Gastrocnemius* достоверно не отличался от значений нормы, как на стороне акцента, так и на контралатеральной конечности. Но проведение функциональной пробы выявило достоверное (табл. 1) снижение расчётного показателя контрактильности на обеих конечностях, в среднем на 60%.

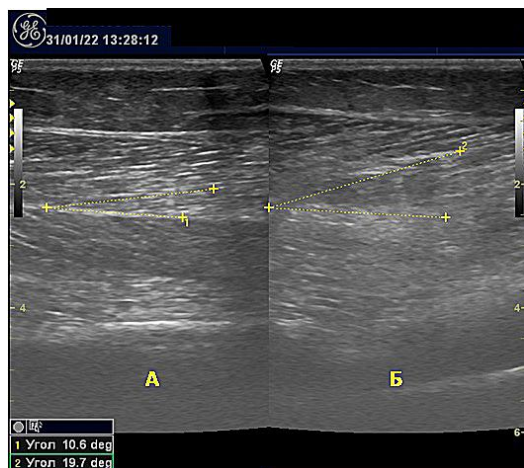


Рис. 1. Сонограмма здорового ребенка, 10 лет, с определением угла наклона соединительно - тканной прослойки *m. Gastrocnemius*.
А – до функциональной пробы,
Б – после функциональной пробы

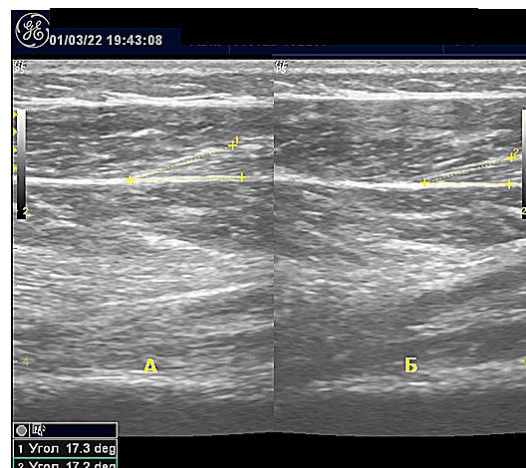


Рис. 2. Сонограмма больного ДЦП, 10 лет, с определением угла наклона соединительнотканной прослойки *m. Gastrocnemius*. А – до функциональной пробы, Б – после функциональной пробы

Площадь поперечного сечения мышц контралатеральной конечности была уменьшена у тыльных и подошвенных сгибателей стопы, в среднем, на 20,0%, что статистически незначимо на данной группе выборки. Площадь поперечного сечения мышц сгибателей и разгибателей голени была равна значениям контрольной группы здоровых сверстников. Площадь поперечного сечения мышц конечности – акцент патологии была достоверно уменьшена у тыльных и подошвенных сгибателей стопы, в среднем, на 37,0% ($p=0,0054$), сгибатели и разгибатели голени – на 15%. Функционально это означает, что мышцы имеют меньший диапазон движения, который зависит от длины волокон. Уменьшение угла наклона соединительно тканной прослойки мышц отражает уменьшение количества сократительного материала [11]. У пациентов с уровнем I по *GMFCS* силовые параметры (H^*m , H^*m/kg) всех исследованных групп мышц контралатеральной конечности были снижены на 10% - 40%, но не имели достоверных отличий от значений здоровых сверстников. На акцент – конечности относительно здоровых сверстников абсолютные и относительные силовые параметры мышц достоверно снижены (на 60-85%, $P = 0,02-0,03$) силовые параметры мышц сгибателей / разгибателей стопы, и отсутствует статически значимое различие мышц сгибателей / разгибателей голени. Прямой показатель максимальной силовой способности с учетом физиологической площади поперечного сечения (относительный момент силы, H^*m/cm^2) и силовой индекс антагонистов мышцы бедра и голени уменьшался, как на контралатеральной, так и на акцент - конечности у пациентов, но не имел достоверных различий от значений нормы. Методом сигмальных отклонений сравнение абсолютных и относительных показателей динамометрии относительно нормы было 3,5 δ - 4,5 δ , что отражает выраженную неоднородностью показателя в малой группе выборки больных и значительный диапазон силовых параметров у здоровых сверстников. Отмечается закономерность увеличения дисбаланса мышечной силы между мышцами-антагонистами на менее пораженной и более пораженной конечностях с уменьшением индекса мышц-антагонистов бедра и голени.

Полученные результаты согласуются с данными других авторов, которые связывали недостаточную генерацию силы со снижением центральной активации или нейронной активности, неадекватной совместной активацией групп мышц-антагонистов [14]. Большой дефицит силы в нижних конечностях был зафиксирован в дистальных мышцах по сравнению с проксимальными и при более высоких, чем при более медленных скоростях движения [7].

Вывод. У пациентов ДЦП *GMFCS I* не выявлено структурно функциональных изменений мышц проксимального сегмента нижней конечности: абсолютного и относительного моментов силы мышц

бедр (сгибателей / разгибателей голени) в сочетании с сонографическими признаками сохранности мышечного объема.

У пациентов ДЦП *GMFCS I* снижение контрактильности мышц, абсолютного и относительного моментов силы мышц голени (тыльных и подошвенных сгибателей стопы) в сочетании с сонографическими признаками потери саркомеров (по данным УЗИ уменьшение угла пучка, толщины и площади поперечного сечения мышц), свидетельствуют о структурно-функциональном нарушении моторного аппарата только дистальных сегментов.

Литература

1. Долганова Т.И., Гатамов О.И., Чибилов Г.М., Долганов Д.В., Попков Д.А. Клинико-биомеханические результаты многоуровневых ортопедических вмешательств при crouch gait // Гений ортопедии. 2020. №3. С. 325–333. DOI:10.18019/1028-4427-2020-26-3-325-333.
2. Щуров В.А., Долганова Т.И., Долганов Д.В. Установка для измерения силы мышц бедра // Медицинская техника. 2014. №1. С. 27–30. DOI:10.1007/s10527-014-9410-9.
3. Щуров В.А., Долганова Т.И., Долганов Д.В. Установка для измерения силы мышц голени // Медицинская техника. 2016. № 2. С. 37–39. DOI:10.1007/s10527-016-9602-6.
4. Щурова Е.Н., Менщикова Т.И., Филимонова Г.Н. Сопоставление ультразвуковых и морфологических результатов исследования паравертебральных мышц на вершине деформации у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа // Гений ортопедии. 2018. №1. С. 70–74. DOI:10.18019/1028-4427-2018-24-1-70-74.
5. Darras N., Nikaina E., Tziomaki M., Gkrimas G., Papavasiliou A., Pasparakis D. Development of Lower Extremity Strength in Ambulatory Children With Bilateral Spastic Cerebral Palsy in Comparison With Typically Developing Controls Using Absolute and Normalized to Body Weight Force Values //Front. Neurol. 2021. Vol. 12. P. 617971. DOI: 10.3389/fneur.2021.617971.
6. Fortuna R., Vaz M.A., Youssef A.R., Longino D., Herzog W. Changes in contractile properties of muscles receiving repeat injections of botulinum toxin (Botox) //J Biomech. 2011. Vol. 44. P. 39–44. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2010.08.020.
7. Fowler E.G., Kolobe T.H., Damiano D.L., Thorpe D.E., Morgan D.W., Brunstrom J.E. Section on Pediatrics Research Summit Participants; Section on Pediatrics Research Committee Task Force. Promotion of physical fitness and prevention of secondary conditions for children with cerebral palsy: section on pediatrics research summit proceedings //P hys Ther. 2007. vol.87. P.1495–1510. DOI: 10.2522/ptj.20060116.
8. Hill A.V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle // Proc R Soc London. 1938. Vol. 126. P. 136–195. DOI: 10.1098/rspb.1938.0050.
9. Johnson D.L., Miller F., Subramanian P., Modlesky C.M. Adipose tissue infiltration of skeletal muscle in children with cerebral palsy // J. Pediatr. 2009. Vol.154. P. 715–720. DOI: 10.1016/j.jpeds.2008.10.046.
10. Matthiasdottir S., Hahn M., Yaraskavitch M., Herzog W. Muscle and fascicle excursion in children with cerebral palsy // Clin Biomech. 2014. Vol. 29. P. 458–462. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2014.01.002.
11. Moreau N.G., Teefey S.A., Damiano D.L. In vivo muscle architecture and size of the rectus femoris and vastus lateralis in children and adolescents with cerebral palsy // Dev Med Child Neurol. 2009. №51. P. 800–806.
12. Noble J.J., Fry N.R., Lewis A.P., Keevil S.F., Gough M., Shortland A.P. Lower limb muscle volumes in bilateral spastic cerebral palsy // Brain Dev. 2013. Vol. 36. P. 294–300. DOI: 10.1016/j.braindev.2013.05.008
13. Jason J., Herzog W. Skeletal Muscle in Cerebral Palsy: From Belly to Myofibril // Frontiers in neurology. 2021. Vol. 12. P. 620852. DOI:10.3389/fneur.2021.620852.
14. Stackhouse S.K., Binder-Macleod S.A., Lee S.C. Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy // Muscle Nerve. 2005. Vol. 31. P. 594–601. DOI: 10.1002/mus.20302.

References

1. Dolganova TI, Gatamov OI, Chibirov GM, Dolganov DV, Popkov DA. Kliniko-biomechanicheskie rezultaty mnogourovnevnyh ortopedicheskikh vmeshatel'stv pri crouch gait [Clinical and biomechanical results of multilevel orthopaedic interventions in crouch-gait patients]. Genij Ortopedii, 2020;26(3):325-33. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-325-333. Russian.
2. Shchurov VA, Dolganova TI, Dolganov DV. Ustanovka dlja izmerenija sily myshc bedra [A Femoral Muscle Dynamometer]. Biomed Eng. 2014;48:30-2. Russian.
3. Shchurov VA, Dolganova TI, Dolganov DV. Ustanovka dlja izmerenija sily myshc goleni [Device for Measuring Lower Leg Muscle Strength]. Biomed Eng. 2016;50:124-7. Russian.

4. Shchurova EN, Menshchikova TI, Filimonova GN. Sopostavlenie ul'trazvukovyh i morfologicheskikh rezul'tatov issledovaniya paravertebral'nyh myshc na vershine deformacii u bol'nyh s kifoskoliozom na fone nejrofibromatoza I tipa [Comparison of ultrasonographic and morphological findings of paravertebral muscles at the apex of kyphoscoliosis in patients with neurofibromatosis type I]. *Genij Ortopedii*. 2018;24(1):70-4. DOI 0.18019/1028-4427-2018-24-1-70-74. Russian.
5. Darras N, Nikaina E, Tziomaki M, Gkrimas G, Papavasiliou A, Pasparakis D. Development of Lower Extremity Strength in Ambulatory Children With Bilateral Spastic Cerebral Palsy in Comparison With Typically Developing Controls Using Absolute and Normalized to Body Weight Force Values. *Front. Neurol*. 2021;12:617971. DOI: 10.3389/fneur.2021.617971.
6. Fortuna R, Vaz MA, Youssef AR, Longino D, Herzog W. Changes in contractile properties of muscles receiving repeat injections of botulinum toxin (Botox). *J Biomech*. 2011;44(1):39-44. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2010.08.020.
7. Fowler EG, Kolobe TH, Damiano DL, Thorpe DE, Morgan DW, Brunstrom JE, Coster WJ, Henderson RC, Pitetti KH, Rimmer JH, Rose J, Stevenson R.D. Section on Pediatrics Research Summit Participants; Section on Pediatrics Research Committee Task Force. Promotion of physical fitness and prevention of secondary conditions for children with cerebral palsy: section on pediatrics research summit proceedings. *Phys Ther*. 2007; 87(11):1495-510. DOI: 10.2522/ptj.20060116.
8. Hill AV. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc Biol Sci*. 1938;126(843):136-95. DOI: 10.1098/rspb.1938.0050.
9. Johnson DL, Miller F, Subramanian P, Modlesky CM. Adipose tissue infiltration of skeletal muscle in children with cerebral palsy. *J Pediatr*. 2009;154(5):715-20. DOI: 10.1016/j.jpeds.2008.10.046.
10. Matthiasdottir S, Hahn M, Yaraskavitch M, Herzog W. Muscle and fascicle excursion in children with cerebral palsy. *Clin Biomech*. 2014;29:458-62. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2014.01.002.
11. Moreau NG, Teeffey SA, Damiano DL. In vivo muscle architecture and size of the rectus femoris and vastus lateralis in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2009;51(10):800-6. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2009.03307.
12. Noble JJ, Fry NR, Lewis AP, Keevil SF, Gough M, Shortland AP. Lower limb muscle volumes in bilateral spastic cerebral palsy. *Brain Dev*. 2014;36(4):294-300. DOI: 10.1016/j.braindev.2013.05.008.
13. Howard JJ, Herzog W. Skeletal Muscle in Cerebral Palsy: From Belly to Myofibril. *Front Neurol*. 2021;12:620852. DOI: 10.3389/fneur.2021.620852.
14. Stackhouse SK, Binder-Macleod SA, Lee SC. Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy. *Muscle Nerve*. 2005;31(5):594-601. DOI: 10.1002/mus.20302.

Библиографическая ссылка:

Трофимов А.О. Структурно-функциональные характеристики мышц нижних конечностей у детей при церебральном параличе в сравнении со здоровыми сверстниками // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2022. №4. Публикация 3-6. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-4/3-6.pdf> (дата обращения: 21.07.2022). DOI: 10.24412/2075-4094-2022-4-3-6. EDN BTBMWF*

Bibliographic reference:

Trofimov AO. Strukturno-funkcional'nye harakteristiki myshc nizhnih konechnostej u detej pri cerebral'nom paraliche v sravnenii so zdorovymi sverstnikami [Structural and functional characteristics of the lower muscles of limb in children with cerebral palsy in comparison with healthy peers]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2022 [cited 2022 Jul 21];4 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-4/3-6.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-4-3-6. EDN BTBMWF

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-4/e2022-4.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY