

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2021

УДК 616.831-009.11

Табее Е.Э.<sup>1</sup>, Шарков С.М.<sup>1,2,3</sup>

## Эффективность использования тренажёра «Экзобот» детьми с церебральным параличом

<sup>1</sup>ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России, 119296, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница» Департамента здравоохранения г. Москвы, 119049, Москва, Россия;

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

Детский церебральный паралич (ДЦП) характеризуется прогрессирующим поражением головного мозга, но прогрессирующим каскадом вторичных заболеваний опорно-двигательного аппарата. Характерные изменения при ДЦП вызывают дисфункцию голеностопного, коленного и тазобедренного суставов, что сказывается на биомеханике ходьбы и приводит к трансформации последней в патологическую. **Цель работы:** определить влияние тренажёра «Экзобот» на биомеханику ходьбы детей с ДЦП. В обзоре авторы проводят сравнение нормальной и патологической биомеханики ходьбы детей с ДЦП с использованием Амстердамской классификации патологической походки, которая включает 5 типов в зависимости от положения коленного сустава и стопы по отношению к горизонтальной поверхности в фазе середины опоры. Несмотря на уровень развития ребёнка с ДЦП по классификации больших моторных функций и тип походки по Амстердамской классификации, все дети в фазе движения начинают контакт не с пятки, а с переднего отдела стопы. Это влечёт за собой ухудшение контроля баланса туловища и повышение затрат энергии на вертикализацию. Походка ребёнка с ДЦП в тренажёре «Экзобот» за счёт фиксации стопы, голеностопного сустава и системы карабинов и эластичных тяг начинается всегда с пятки. Тем самым формируются правильный паттерн шага и мышечная память у ребёнка с ДЦП. Отмечается улучшение контроля за балансом равновесия со стороны больного ДЦП, повышается его мотивация к двигательному развитию.

**Ключевые слова:** *церебральный паралич; биомеханика ходьбы; дети; «Экзобот»*

**Для цитирования:** Табее Е.Э., Шарков С.М. Эффективность использования тренажёра «Экзобот» детьми с церебральным параличом. *Российский педиатрический журнал*. 2021; 24(6): 433-436. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2021-24-6-433-436>

**Для корреспонденции:** Табеев Евгений Эженовна, канд. мед. наук, зав. отд.-нием амбулаторной нейроортопедии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей», [dr.tabe@mail.ru](mailto:dr.tabe@mail.ru)

**Участие авторов:** Табеев Е.Э. — сбор и обработка материала, написание текста; Шарков С.М. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Поступила 23.11.2021  
Принята к печати 17.12.2021  
Опубликована 29.12.2021

Evgeniya E. Tabe<sup>1</sup>, Sergei M. Sharkov<sup>1,2,3</sup>

## Efficacy of using of the apparatus «Exobot» on the gait of a child with cerebral palsy

<sup>1</sup>National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, 119991, Russian Federation;

<sup>2</sup>Morozovskaya Children Municipal Clinical Hospital, Moscow, 119049, Russian Federation;

<sup>3</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russian Federation

Cerebral palsy is characterized by non-progressive brain damage but a progressive cascade of secondary diseases of the musculoskeletal system. The characteristic changes in the infantile cerebral palsy lead to dysfunction of the ankle, knee and hip joints, which affects the biomechanics of walking and leads to the pathological transformation.

**Purpose:** to determine the effect of the Exobot simulator on the walking biomechanics of children with cerebral palsy. The review compares the normal and pathological biomechanics of walking in children with cerebral palsy, starting from the Amsterdam classification of pathological gait, which includes five types depending on the position of the knee joint and foot concerning the horizontal surface mid-support phase. Despite the child's level with cerebral palsy according to the classification of global motor functions and the type of gait according to the Amsterdam classification, all children in the contact phase begin contact not from the heel but the forefoot. This entails a deterioration in the control of the trunk balance and an increase in the energy consumption for verticalization. The gait of a child with cerebral palsy in the Exobot simulator, due to the fixation of the foot, ankle joint and the system of carabiners and elastic rods, always begins from the heel.

Thus, the correct step pattern and muscle memory are formed in a child with cerebral palsy. There is an improvement in the control over the balance on the part of the child, his motivation for motor development increases.

**Keywords:** *cerebral palsy; walking biomechanics; children; Exobot*

**For citation:** Tabe E.E., Sharkov S.M. Efficacy of using of the apparatus «Exobot» on the gait of a child with cerebral palsy. *Rossiyskiy Pediatricheskiy Zhurnal (Russian Pediatric Journal)*. 2021; 24(6): 433-436. (In Russian). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2021-24-6-433-436>

**For correspondence:** *Evgeniya E. Tabe*, Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Outpatient Neuro-orthopedics, National Medical Research Center for Children's Health, dr.tabe@mail.ru

**Contribution:** Tabe E.E. — collection and processing of material, writing text; Sharkov S.M. — editing. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

**Information about the authors:**

Tabe E.E., <https://orcid.org/0000-0003-2375-844X>  
Sharkov S.M., <https://orcid.org/0000-0001-8579-2227>

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

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

Received: November 23, 2021

Accepted: December 17, 2021

Published: December 29, 2021

У больных с детским церебральным параличом (ДЦП) при непрогрессирующем поражении головного мозга всегда наблюдается прогрессирующий каскад вторичных форм патологии опорно-двигательного аппарата [1–4]. Существует система классификации больших моторных функций при ДЦП — Gross Motor Function Classification System (GMFCS), которая основана на оценке самопроизвольных движений с акцентом на умении сидеть, перемещаться и менять положение тела. Походка ребёнка с ДЦП, независимо от уровня GMFCS, всегда будет отличаться от походки ребёнка с типичным развитием [5–7].

У всех детей с ДЦП в той или иной степени присутствуют характерные изменения, приводящие к патологической походке: отсутствие избирательного мышечного контроля; сохранение примитивных рефлексов; аномальный мышечный тонус; дисбаланс между мышцами-агонистами и мышцами-антагонистами; дефицит реакций, направленных на поддержание баланса [8–11]. В связи с этими изменениями развивается дисфункция голеностопного сустава, обусловленная аномальным положением сустава и стопы в сагиттальной, фронтальной и горизонтальной плоскостях. Дисфункция коленного сустава также обусловлена изменениями в сагиттальной плоскости, аналогичными изменениям в голеностопном суставе (аномальная установка сустава или аномальная амплитуда движений, контрактура, недостаточность мышц) [12–15]. Различают 4 вида первичных нарушений функции коленного сустава: скачущий, припадающий, тугой и рекурвация коленного сустава. Тазобедренный сустав имеет изменения во всех трёх плоскостях за счёт изменённого тонуса приводящих, подвздошных и тонких мышц [12].

Изменения в крупных суставах нижних конечностей приводят к нарушению нормальной биомеханики ходьбы (изменению в фазах цикла шага). Если у пациента с типичным развитием фаза контакта определяется контактом пятки с горизонтальной поверхностью, то у больного ДЦП всегда фаза контакта характеризуется либо контактом всей стопы, либо передним отделом стопы. Как следствие, при движении ребёнок с ДЦП теряет перекал через пятку, а иногда и через голеностопный сустав [16–18]. Патологический паттерн шага при ДЦП хорошо демонстрирует Амстердамская классификация нарушения походки, которая была разработана в Медицинском центре Университета Vrije Universiteit (Амстердам) в сотрудничестве с профессором Жюлем Бехером, и включает 5 типов походки в зависимости от положения коленного сустава и стопы по отношению к горизонтальной поверхности в фазу середины опоры.

При первом типе походки в фазе середины опоры стопа нагружается полностью, колено — в физиологическом положении. Тем не менее фаза контакта начинается с контакта передним отделом стопы, что обусловлено слабостью передней большеберцовой мышцы и укорочением икроножной мышцы из-за её спастичности.

При втором типе в фазе середины опоры стопа также нагружается полностью, но коленный сустав находится в положении рекурвации. Это связано со слабостью передней большеберцовой мышцы и некорректной активацией трёхглавой мышцы. Цикл шага, как и при первом типе походки, начинается с контакта передним отделом стопы или всей стопой, но не пяткой [19–21].

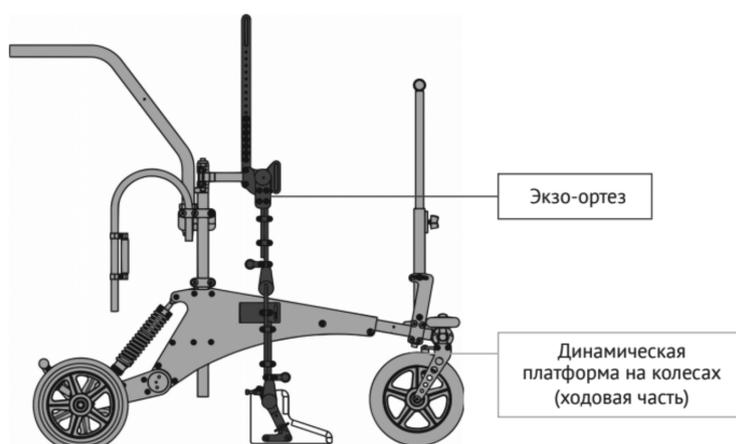
При третьем типе походки в фазе середины опоры отмечается опора только на передний отдел стопы, при этом коленный сустав находится в положении рекурвации. Это положение связано со слабостью передней большеберцовой мышцы и слишком ранней и/или сильной активацией трёхглавой мышцы. Цикл шага при третьем типе походки начинается с опоры на передний отдел стопы и исключает перекал через пятку и голеностопный сустав.

При четвёртом типе походки в фазе середины опоры отмечается опора только на передний отдел стопы при согнутом коленном суставе. В этом случае отмечается чрезмерная активация сдвигательных мышц и некорректная активация икроножных или больших подвздошных мышц. Цикл шага, как и в других типах походки, начинается с опоры на передний отдел стопы.

При пятом типе походки в фазе середины опоры отмечается опора всей стопы, но при согнутом коленном суставе. Такое положение конечности связано со спастичностью мышц задней поверхности бедра, которая сопровождается слабостью икроножной мышцы. Цикл шага также начинается с опоры на передний отдел стопы [22–24].

Разбор всех типов походки по Амстердамской классификации показал значительные изменения биомеханики ходьбы у ребёнка с ДЦП, независимо от типа походки. При этом у детей из одного класса по классификации GMFCS могут быть походки разных типов по Амстердамской классификации.

Необходимо учитывать, что Амстердамская классификация рассматривает только сагиттальную плоскость. Во фронтальной плоскости при вальгусной или варусной деформации стопы значительно возрастает вальгусный или варусный момент силы. При этом противоположно направленный момент силы недостаточен, что приводит



Тренажёр «Экзобот» состоит из двух основных частей: ходовой части и экзо-ортеза.  
The simulator Exobot consists of two main parts: the undercarriage and the exo-orthosis.

к нестабильности голеностопного сустава, которая усугубляется абдукцией или аддукцией стопы в горизонтальной плоскости [25, 26].

Задача мультидисциплинарной команды специалистов — улучшить баланс и биомеханику ходьбы ребёнка с ДЦП за счёт стабилизации крупных суставов нижних конечностей и уменьшения дисбаланса мышц. В связи с этим ребёнку подбираются аппараты для нижних конечностей, различные виды технических средств реабилитации, поддерживающие больного во время ходьбы [27–29]. Однако при использовании аппаратов только на голеностопные суставы невозможно полностью устранить приведение и внутреннюю ротацию бедра. А при использовании ходунков-роллаторов ребёнок продолжает начинать цикл шага с переднего отдела стоп или с соприкосновения всей стопой. При использовании тренажёра «Экзобот» — аппарата на нижние конечности и туловище — за счёт фиксации стопы, голеностопного сустава, системы эластичных тяг и карабинов исключаются ротация бедра и абдукция или аддукция стопы. При этом, что является наиболее важным, цикл шага начинается с пятки. У ребёнка формируется правильный паттерн ходьбы во время занятий в данном тренажёре, чего нельзя отметить во время самостоятельной ходьбы.

Данный тренажёр представляет собой динамическую платформу на колесах с различной грузоподъёмностью, к которой с помощью системы специальных креплений пациент фиксируется в области таза и груди, нижние конечности фиксированы в экзоортезе (рисунок). Перемещение осуществляется с помощью специальных эластичных тяг, расположенных в области коленного сустава и голеностопа. Благодаря им создается необходимый уровень усилия для приведения нижних конечностей в нормальное движение: ребёнок начинает цикл шага с контакта пяткой с поверхностью, за счёт фиксации стопы и голеностопного сустава и эластичных тяг исчезает абдукция или аддукция стоп, а также внутренняя ротация бёдер. Это улучшает фазу продвижения, т.к. исчезает дисбаланс между мышцами-разгибателями коленного и голеностопного суставов, а также между приводящими и отводящими мыш-

цами бедра, исчезает наклон таза в сторону переносимой нижней конечности.

Таким образом, данный тренажёр стабилизирует голеностопный сустав, устраняя дисбаланс мышц нижних конечностей, способствует динамическому растяжению задней группы мышц голени, формирует мышечную память [30–33]. Всё это позволяет достичь хороших результатов в реабилитации детей с ДЦП.

## Литература/References

1. Graham H.K., Rosenbaum P., Paneth N., Dan B., Lin J.P., Damiano D.L., et al. Cerebral palsy. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 2016; 2: 15082. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.82>
2. Green L.B., Hurvitz E.A. Cerebral palsy. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2007; 18(4): 859–82, vii. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2007.07.005>
3. Jaspers E., Verhaegen A., Geens F., Van Campenhout A., Desloovere K., Molenaers G. Lower limb functioning and its impact on quality of life in ambulatory children with cerebral palsy. *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2013; 17(6): 561–7. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2013.04.006>
4. Sarathy K., Doshi C., Aroojis A. Clinical examination of children with cerebral palsy. *Indian J. Orthop.* 2019; 53(1): 35–44. [https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho\\_409\\_17](https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_409_17)
5. Cappellini G., Sylos-Labini F., Dewolf A.H., Solopova I.A., Morelli D., Lacquaniti F., et al. Maturation of the locomotor circuitry in children with cerebral palsy. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2020; 8: 998. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00998>
6. Johari R., Maheshwari S., Thomason P., Khot A. Musculoskeletal evaluation of children with cerebral palsy. *Indian J. Pediatr.* 2016; 83(11): 1280–8. <https://doi.org/10.1007/s12098-015-1999-5>
7. Franki I., De Cat J., Deschepper E., Molenaers G., Desloovere K., Himpens E., et al. A clinical decision framework for the identification of main problems and treatment goals for ambulant children with bilateral spastic cerebral palsy. *Res. Dev. Disabil.* 2014; 35(5): 1160–76. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.01.025>
8. Domagalska M., Szopa A., Syczewska M., Pietraszek S., Kidoń Z., Onik G. The relationship between clinical measurements and gait analysis data in children with cerebral palsy. *Gait Posture*. 2013; 38(4): 1038–43. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.05.031>
9. Fosdahl M.A., Jahnsen R., Pripp A.H., Holm I. Change in popliteal angle and hamstrings spasticity during childhood in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy. A register-based cohort study. *BMC Pediatr.* 2020; 20(1): 11. <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1891-y>
10. Rethlefsen S.A., Blumstein G., Kay R.M., Dorey F., Wren T.A. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral

- palsy revisited: influence of age, prior surgery, and Gross Motor Function Classification System level. *Dev. Med. Child Neurol.* 2017; 59(1): 79–88. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13205>
11. Bekius A., Bach M.M., van der Krogt M.M., de Vries R., Buizer A.I., Dominici N. Muscle synergies during walking in children with cerebral palsy: a systematic review. *Front. Physiol.* 2020; 11: 632. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00632>
  12. Yildiz C., Demirkale I. Hip problems in cerebral palsy: screening, diagnosis and treatment. *Curr. Opin. Pediatr.* 2014; 26(1): 85–92. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000040>
  13. Eek M.N., Zügner R., Stefansdottir I., Tranberg R. Kinematic gait pattern in children with cerebral palsy and leg length discrepancy: Effects of an extra sole. *Gait Posture.* 2017; 55: 150–6. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.022>
  14. Ferrari A., Bergamini L., Guerzoni G., Calderara S., Biccocchi N., Vitetta G., et al. Gait-based diplegia classification using LSMT networks. *J. Healthc. Eng.* 2019; 2019: 3796898. <https://doi.org/10.1155/2019/3796898>
  15. Folle M.R., Tedesco A.P., Nicolini-Panisson R.D. Correlation between visual gait analysis and functional aspects in cerebral palsy. *Acta Orthop. Bras.* 2016; 24(5): 259–61. <https://doi.org/10.1590/1413-785220162405162986>
  16. Saether R., Helbostad J.L., Adde L., Brændvik S., Lydersen S., Vik T. Gait characteristics in children and adolescents with cerebral palsy assessed with a trunk-worn accelerometer. *Res. Dev. Disabil.* 2014; 35(7): 1773–81. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.02.011>
  17. Lewerenz A., Wolf S.I., Dreher T., Krautwurst B.K. Performance of stair negotiation in patients with cerebral palsy and stiff knee gait. *Gait Posture.* 2019; 71: 14–9. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.04.005>
  18. Gómez-Pérez C., Font-Llagunes J.M., Martori J.C., Vidal Samsó J. Gait parameters in children with bilateral spastic cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trials. *Dev. Med. Child Neurol.* 2019; 61(7): 770–82. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14108>
  19. Roche N., Pradon D., Cosson J., Robertson J., Marchiori C., Zory R. Categorization of gait patterns in adults with cerebral palsy: a clustering approach. *Gait Posture.* 2014; 39(1): 235–40. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.07.110>
  20. Ferrari A., Brunner R., Faccioli S., Reverberi S., Benedetti M.G. Gait analysis contribution to problems identification and surgical planning in CP patients: an agreement study. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2015; 51(1): 39–48.
  21. Boyer E.R., Patterson A. Gait pathology subtypes are not associated with self-reported fall frequency in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2018; 63: 189–94. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.05.004>
  22. Malone A., Kiernan D., French H., Saunders V., O'Brien T. Obstacle crossing during gait in children with cerebral palsy: cross-sectional study with kinematic analysis of dynamic balance and trunk control. *Phys. Ther.* 2016; 96(8): 1208–15. <https://doi.org/10.2522/ptj.20150360>
  23. Rethlefsen S.A., Kay R.M. Transverse plane gait problems in children with cerebral palsy. *J. Pediatr. Orthop.* 2013; 33(4): 422–30. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3182784e16>
  24. Ammann-Reiffer C., Bastiaenen C.H.G., Meyer-Heim A.D., van Hedel H.J.A. Lessons learned from conducting a pragmatic, randomized, crossover trial on robot-assisted gait training in children with cerebral palsy (PeLoGAIT). *J. Pediatr. Rehabil. Med.* 2020; 13(2): 137–48. <https://doi.org/10.3233/PRM-190614>
  25. Lofterød B., Terjesen T. Results of treatment when orthopaedic surgeons follow gait-analysis recommendations in children with CP. *Dev. Med. Child Neurol.* 2008; 50(7): 503–9. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03018.x>
  26. Papageorgiou E., Simon-Martinez C., Molenaers G., Ortibus E., Van Campenhout A., Desloovere K. Are spasticity, weakness, selectivity, and passive range of motion related to gait deviations in children with spastic cerebral palsy? A statistical parametric mapping study. *PLoS One.* 2019; 14(10): e0223363. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223363>
  27. Schasfoort F., Pangalila R., Sneekes E.M., Catsman C., Becher J., Horemans H., et al. Intramuscular botulinum toxin prior to comprehensive rehabilitation has no added value for improving motor impairments, gait kinematics and goal attainment in walking children with spastic cerebral palsy. *J. Rehabil. Med.* 2018; 50(8): 732–42. <https://doi.org/10.2340/16501977-2369>
  28. Franki I., Desloovere K., De Cat J., Feys H., Molenaers G., Calders P., et al. The evidence-base for basic physical therapy techniques targeting lower limb function in children with cerebral palsy: a systematic review using the International Classification of Functioning, Disability and Health as a conceptual framework. *J. Rehabil. Med.* 2012; 44(5): 385–95. <https://doi.org/10.2340/16501977-0983>
  29. Fosdahl M.A., Jahnsen R., Kvalheim K., Holm I. Effect of a combined stretching and strength training program on gait function in children with cerebral palsy, GMFCS level I & II: a randomized controlled trial. *Medicina (Kaunas).* 2019; 55(6): 250. <https://doi.org/10.3390/medicina55060250>
  30. Willerslev-Olsen M., Petersen T.H., Farmer S.F., Nielsen J.B. Gait training facilitates central drive to ankle dorsiflexors in children with cerebral palsy. *Brain.* 2015; 138(Pt. 3): 589–603. <https://doi.org/10.1093/brain/awu399>
  31. Lorentzen J., Frisk R., Willerslev-Olsen M., Bouyer L., Farmer S.F., Nielsen J.B. Gait training facilitates push-off and improves gait symmetry in children with cerebral palsy. *Hum. Mov. Sci.* 2020; 69: 102565. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102565>
  32. Joseph B., Reddy K., Varghese R.A., Shah H., Doddabasappa S.N. Management of severe crouch gait in children and adolescents with cerebral palsy. *J. Pediatr. Orthop.* 2010; 30(8): 832–9. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181fbfd0e>
  33. Cauraugh J.H., Naik S.K., Hsu W.H., Coombes S.A., Holt K.G. Children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis on gait and electrical stimulation. *Clin. Rehabil.* 2010; 24(11): 963–78. <https://doi.org/10.1177/0269215510371431>

**Сведения об авторах:**

**Шарков Сергей Михайлович**, доктор мед. наук, проф., руководитель операционного блока ГБУЗ Морозовская ДГКБ ДЗМ, проф. каф. детской хирургии и урологии-андрологии им. проф. Л.П. Александрова, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), [sharkdoc@mail.ru](mailto:sharkdoc@mail.ru)