

КЛИНИКО-БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АРТРОРИЗА ПОДТАРАННОГО СУСТАВА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ С НЕФИКСИРОВАННОЙ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ СТОП

Г.А. Кошман¹; В.С. Аносов¹, к.м.н.; С.И. Болтрукевич¹, д.м.н., профессор;
Л.З. Сычевский², к.м.н.

¹ Кафедра травматологии, ортопедии и ВПХ
УО «Гродненский государственный медицинский университет»
² УЗ «ГКБ СМП г. Гродно»

В данной работе приводятся биомеханическое обоснование и результаты применения нового малоинвазивного метода коррекции нефиксированной формы плосковальгусной деформации стопы у детей. Предложенный хирургический метод позволяет сократить сроки реабилитации, предотвратить вторичные изменения, обусловленные гиперпронацией подтаранного сустава, не нарушает нормальную биомеханику стопы.

Ключевые слова: плосковальгусная деформация стопы, артролиз, подтаранный сустав.

The present article describes biomechanical justification and the results of application of a new minimally invasive method for the correction of flexible flatfoot in children. The proposed surgical method can reduce time of rehabilitation, prevent secondary degenerative changes due to hyperpronation of a subtalar joint, and does not change normal biomechanics of the foot.

Key words: pes planovalgus, arthroereisis, subtalar joint

Введение

Стопа является сложным биомеханическим узлом опорно-двигательного аппарата человека, состоящая из 26 костей, более 30 суставов и 100 связок и мышц, функционирующих совместно с мышцами и обеспечивающих четыре основные функции стопы: опорную, толчковую, балансирующую и рессорную. Данный комплекс является весьма тонкой и взаимосвязанной структурой, поскольку изменения в одной ее части приводят к изменениям в другой. Поэтому в биомеханике движения в суставах стопы рассматриваются как единая кинетическая цепь [11, 24].

Во время ходьбы стопа циклически изменяет свои свойства, от эластических, в контактный период, до упругих в период отталкивания. Изменение свойств стопы во время цикла шага происходит за счет пронации и супинации подтаранного сустава, которые возможны благодаря движениям в пяти трехплоскостных суставах: голеностопном, подтаранном, I и V предплюсне-плюсневых суставах и поперечном суставе предплюсны (сустав Шопара) [8, 30].

При пронации происходит отведение, эверсия и дорсифлексия, при супинации приведение, инверсия и плантфлексия стопы (рис. 1).

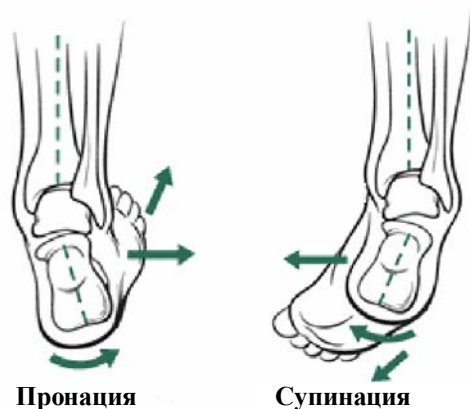


Рисунок 1 – Пронация и супинация стопы представляют собой одновременное движение в трех плоскостях – сагиттальной, фронтальной и горизонтальной

Основная роль в осуществлении пронационно-супинационных движений стопы во время ходьбы принадлежит подтаранному суставу, т.к. от его положения во время цикла шага зависит объем движений в других суставах стопы, прежде всего в поперечном суставе предплюсны и в I и V предплюсне-плюсневых суставах [8, 18]. Поэтому знание биомеханики подтаранного сустава в норме весьма важно для эффективного лечения большинства заболеваний и деформаций стопы.

В норме в контактный период цикла шага сила реакции опоры вызывает пронацию подтаранного сустава, при которой происходит увеличение объема движения в суставах стопы, увеличивается площадь подошвенной поверхности, что обеспечивает адаптацию стопы к особенностям рельефа и снижение величины силы реакции опоры. Пронация начинается в начале контактного периода и длится в течение всего периода середины опоры до начала периода отталкивания.

В начале периода отталкивания, который начинается с момента отрыва пятки от поверхности, начинается супинация подтаранного сустава, за счет тяги ахиллова сухожилия и «лебедочного механизма» подошвенного апоневроза. Во время супинации объем движений в суставах стопы уменьшается, стопа превращается в жесткий рычаг, что позволяет эффективно, с меньшими энергозатратами произвести отталкивание [3, 9, 18, 20, 26, 27] (рис. 2.)

Во время цикла шага происходит ротация голени вокруг вертикальной оси, однако в фазу опоры стопы не может поддаваться вращательным движениям в горизонтальной плоскости. Поэтому основной функцией подтаранного сустава, помимо вышеперечисленных, является преобразование вращающего момента стопы и голени [9, 27]. Olerud и Rosendahl установили, что на 1° супинации подтаранного сустава приходится 0,44° наружной ротации голени [19]. По данным Levens и соавт., объем ротации голени при ходьбе составляет 15° [17]. Упрощенную механическую модель подтаранного сустава можно представить в виде шарнира, расположенного под углом 45° (рис. 3).



Рисунок 2 – Движения подтаранного сустава во время ходьбы:
1 – контактный период; 2 – период середины опоры; 3 – период отталкивания;
4 – фаза переноса

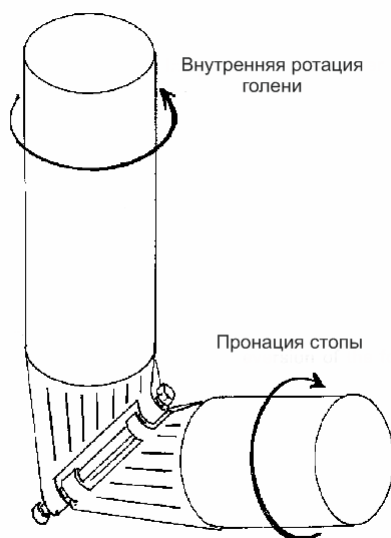


Рисунок 3 – Механическая модель подтаранного сустава

Некоторые исследователи подтаранный – голеностопный комплекс сравнивают с шарниром Гука (карданный вал), который служит для передачи вращения между двумя непараллельными плоскостями [31] (рис. 4).

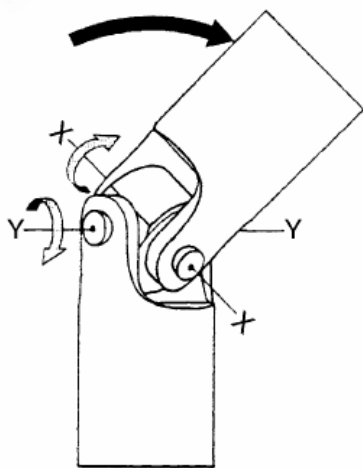


Рисунок 4 – Модель, демонстрирующая биомеханику голеностопного и подтаранного суставов [31]

Направление оси подтаранного сустава идет сверху-вниз, изнутри-кнаружи, спереди-назад. Согласно современным данным, ось подтаранного сустава изменяет свое положение в течение цикла шага и имеет большую индивидуальную вариацию, поэтому среднее значение для ориентации оси принято 42° в сагиттальной и 16° в горизонтальной плоскости по отношению к средней ли-

нии стопы, т.е. ось в норме должна проходить от первого межпальцевого промежутка к заднебоковой поверхности пяточного бугра. Наибольшее клиническое значение имеет положение оси в горизонтальной плос-

кости, поскольку ось в сагиттальной плоскости практически не изменяется [15].

В отношении определения подтаранного сустава имеются противоречия в литературе. Согласно Парижской анатомической номенклатуре (PNA, 1955), подтаранный сустав представляет собой сочленение пяточной и таранной костей между задними суставными поверхностями, а передние и средние суставные фасетки относятся к таранно-пяточно-ладьевидному суставу [1,2]. Однако, с позиций биомеханики, разделить сочленение между таранной и пяточной костями не верно, поскольку движения между ними происходят одновременно, вокруг одной оси, единым комплексом. Также в отношении терминологии, описывающей движения в подтаранном суставе, существуют вариации, что препятствует проведению сравнительного анализа данных, полученных в различных исследованиях. Мы придерживаемся следующей терминологии, признанной большинством авторов: движения пятки вокруг косо расположенной оси подтаранного сустава – пронация и супинация; вокруг сагиттальной оси – эверсия (поворот пятки кнаружи) и инверсия (поворот кнутри); вокруг вертикальной оси – приведение – отведение и во фронтальной сгибание-разгибание.

Гиперпронация подтаранного сустава наблюдается при некоторых видах патологии стопы и нижних конечностей, таких как: плоскостопная деформация, вертикальный таран, тарзальная коалиция, серповидная стопа, приведение переднего отдела стопы, укорочение ахиллова сухожилия, дисплазия соединительной ткани (синдром мезенхимальной недостаточности, синдром Марфана, Элерса-Данло), генетические нарушения (болезнь Дауна), неврологические заболевания (ДЦП, полиомиелит), ревматоидный артрит, остеоартроз подтаранного сустава, врожденные, торсионные и посттравматические деформации нижних конечностей. В свою очередь, гиперпронация подтаранного сустава приводит к множеству форм патологии опорно-двигательной системы, таким как усталостные переломы плюсневых костей, подошвенный фасциит, тендинит ахиллова сухожилия, дисфункции задней большеберцовой мышцы, дегенеративным изменениям в коленном, тазобедренном и даже в височно-нижнечелюстном суставах, позвоночнике, hallux valgus, предрасполагает к повреждениям вращательной манжеты плеча, коленного сустава, изменяет проприорецепцию [5, 6, 13, 14, 21, 25]. Поэтому коррекция гиперпронации подтаранного сустава является необходимым атрибутом при лечении множества патологических состояний. При гиперпронации подтаранного сустава пронация стопы занимает более 25% фазы опоры цикла шага, либо наблюдается отсутствие супинации, вплоть до фазы переноса [9, 30]. Главными атрибутами ее являются эверсия пятки, аддукция, подошвенное сгибание, инверсия и переднее смещение таранной кости относительно пяточной, наблюдается также снижение продольного свода и абдукция переднего отдела стопы [29]. Ось подтаранного сустава сдвинута медиально, при этом сила реакции

опоры действует снаружи оси, что создает большой про-нирующей момент сил на подтаранный сустав [10]. При избыточной пронации подтаранного сустава отсутствует выделение «закрытия» сустава Шопара в период отталкивания, поскольку оси таранно-пяточного и пяточно-кубовидного суставов остаются параллельны, из-за этого увеличивается объем движений в среднетарзальном суставе, стопа остается эластичной, нагрузка на мышечно-связочный аппарат увеличивается, что обуславливает повышенные энергозатраты на локомоцию [10, 20, 27]. При этом также наблюдается внутренняя ротация нижней конечности, увеличение наклона таза, увеличение поясничного лордоза. Со временем из-за избыточной и асимметричной нагрузки происходят дегенеративно-дистрофические изменения в связках, сухожилиях и суставах стопы, а также в вышележащих отделах опорно-двигательной системы, приводящие к различным заболеваниям опорно-двигательной системы.

Лечение консервативными методами (ЛФК, ФТЛ, подошвенные ортезы) не всегда позволяет добиться желаемого результата. Существующие виды оперативных вмешательств весьма травматичны, требуют больших материальных затрат, с длительным периодом последующей реабилитации.

Материалы и методы

В работе представлены результаты лечения с помощью разработанного нами метода малоинвазивной коррекции нефиксированной формы плоско-вальгусной деформации стопы у детей – корригирующий латеральный артродорз подтаранного сустава (КЛАПС).

Оперативное лечение выполняется поэтапно на обеих стопах. Разрез кожи производится в области sinus tarsi книзу и спереди наружной лодыжки длиной до 1 см (рис. 5). Подкожно-жировая клетчатка и мягкие ткани препарируются тупым путем. Наиболее важным моментом вмешательства является точный выбор точки входа винта по передней поверхности латерального отростка таранной кости. Направление костного канала должно быть таким, чтобы головка винта упиралась на верхнебоковую часть переднего отростка пяточной кости, т.е. перпендикулярно оси подтаранного сустава. С помощью костного шила формируется канал в таранной кости в косом направлении снизу-вверх, спереди-назад (рис. 6), после чего производится рентген-контроль направления канала с помощью ЭОП в двух проекциях. Затем выполняется имплантация винта в тело таранной кости (рис. 7).

Данная методика применена у 26 детей (52 стопы) с двусторонней плосковальгусной деформацией стоп в период с июля 2009 по сентябрь 2011 года. В исследова-

нии участвовали 16 мальчиков и 10 девочек в возрасте от 4 до 15 лет. Показаниями к операции являлось наличие нефиксированной плосковальгусной деформации стоп II-III ст. при отсутствии клинического эффекта от проводимого консервативного лечения в течение 6 месяцев – 1 года.

При предоперационном планировании, помимо клинического, использовались фотоплантографический, рентгенологический и педобарометрический методы исследования.

Результаты и обсуждение

В течение 4–6 месяцев после выполнения КЛАПС у всех пациентов наблюдалась супинация переднего отдела стопы, которая проявлялась после коррекции гиперпронации подтаранного сустава. Варус переднего отдела стопы является компенсаторной деформацией, наблюдаемой при плоскостопии, которая устранялась по мере ремоделирования стопы в послеоперационном периоде. По нашим наблюдениям, длительность супинации имела обратно пропорциональную зависимость от возраста ребенка.

После оперативного вмешательства вальгус пятки уменьшился в среднем с $15,8^{\circ} \pm 3,6$ перед оперативным вмешательством до $5,4^{\circ} \pm 2,8$ после ($p < 0,01$). Изменения рентгенографических и плантографических параметров в динамике представлены в таблицах 1 и 2. Для проверки статистической значимости различия данных был использован метод непараметрической статистики для зависимых переменных (критерий Вилкоксона). Обработку данных производили с помощью программного пакета STATISTICA 6.1.

В отличие от предложенных методов, КЛАПС обладает рядом преимуществ. В послеоперационном периоде иммобилизация не требуется, пациенты начинают ходить с полной нагрузкой по мере уменьшения болевого синдрома (в среднем на 3 сутки). Имплантация винта осуществляется перпендикулярно оси подтаранного сустава, что обеспечивает ограничение только избыточной пронации при сохранении нормального объема пронационно-супинационных движений в подтаранном суставе, в отличие от «calcaneal-stop» метода, при котором винт имплантируется в пяточную кость, после чего наблюдается отсутствие относительной подвижности таранной и пяточной костей и повышенная нагрузка на винт, что ведет к частому перелому металлоконструкции [12]. Имплант в sinus tarsi и увеличивает проприоцепцию, что обуславливает повышение тонуса мышц супинаторов и увеличение супинационного момента сил, действующих на подтаранный сустав, благодаря чему, помимо стати-



Рисунок 5



Рисунок 6



Рисунок 7

Таблица 1 – Рентгенографические показатели до и после КЛАПС

Угловые параметры (М±?)	До операции	Через 3 месяца	Через 12 месяцев
Угол продольного свода	152,0°±4,6°	141,0°±3,7° p<0,01	141,6°±5,1° p<0,01
Таранно-I-плюсневый угол	162,4°±7,1°	175,0°±3,8° p<0,001	175,6°±4,8° p<0,001
Таранно-пяточный (прямая проекция)	25,7°±7,7°	23,0°±6,5° p>0,05	20,9°±5,7° p>0,05
Таранно-II-плюсневый	22,8°±6,8°	17,9°±6,0° p<0,05	14,3°±6,1° p<0,05
Таранно-ладьевидный	22,9°±12,1°	16,2°±10,2° p<0,05	13,1°±8,5° p<0,05

Таблица 2 – Плантографические показатели до и после КЛАПС

Плантографические параметры (М±?)	До операции	Через 3 месяца	Через 12 месяцев
Угол Clarke	41,8°±5,4°	46,9°±4,6° p<0,05	48,3°±4,1° p<0,05
Индекс Staheli	0,6±0,2	0,3±0,1 p<0,05	0,4±0,1 p<0,05

ческой, происходит динамическая коррекция деформации [7, 16]. В отличие от артроэрезиса, при выполнении КЛАПС не происходит нарушения кровоснабжения таранной кости, поскольку не повреждается межкостная таранно-пяточная связка, в которой проходит артерия тарзального канала и кровоснабжающая внутреннюю и среднюю трети тела таранной кости [22]. После выполнения артроэрезиса отмечаются осложнения, такие как формирование кист в теле и остеонекроз таранной кости, биодеградация и миграция импланта, стойкий болевой синдром в sinus tarsi которых возможно избежать, применяя метод КЛАПС [23, 28].

Заключение

Корригирующий латеральный артрориз подтаранного сустава является простым, малоинвазивным и экономичным методом коррекции мобильной плосковальгусной деформации стоп у детей. Данная методика позволяет проводить раннюю реабилитационную программу, предотвратить вторичные изменения, обусловленные гиперпронацией подтаранного сустава, и не нарушает нормальные анатомические взаимоотношения и биомеханику стопы.

Литература

1. Международная анатомическая номенклатура / Под ред. С.С. Михайлова. – М.: Медицина, 1980. – 240 с.
2. Анатомия человека / Привес М.Г. [и др.]. – М.: Медицина, 1985. – 672с.
3. Bevans, J.S. Biomechanics: a review of foot function in gait / J.S. Bevans // The Foot. – 1992. – № 2. – P. 79-82.
4. Blackwood, C.B. The Midtarsal Joint Locking Mechanism / C.B. Blackwood, T.J. Yuen, B.J. Sangeorzan, W.R. Ledoux // Foot & Ankle International. – 2005. – Vol. 26, No. 12. – P. 1074-1080.
5. Cheung, R.T.H. Efficacies of different external controls for excessive foot pronation: a meta-analysis / R.T.H. Cheung, R.C.K. Chung, G.Y.F. Ng // Br. J. Sports Med. – 2011. – Vol. 45, № 9. – P. 743-751.
6. Christensen, K. Spinal Biomechanics: What Role Do the Feet Play? / K. Christensen // Dynamic Chiropractic. – 2007. – Vol. 25, № 24. – P. 1-4.
7. De Pellegrin, M. Die subtalare Schraubenarthrorise beim kindlichen / M. De Pellegrin // Plattfu?. Orthopade. – 2005. – № 34. – P. 941-953.
8. Donatelli, R.A. Normal biomechanics of the foot and ankle / R.A. Donatelli // J. Orthop. Sports. Phys. Ther. – 1985. – Vol. 7, № 3. – P. 91-95.

9. Foulston, J. Biomechanical analysis of foot structure and function / J. Foulston // Bailliere's Clinical Rheumatology. – 1987. – Vol. 1, №2. – P. 241-260.

10. Fuller, E.A. Center of pressure and its theoretical relationship to foot pathology / E.A. Fuller // J. Am. Podiatr. Med. Assoc. – 1999. – Vol. 89, № 6. – P. 278-291.

11. Huson, A. Biomechanics of the foot and ankle / A. Huson // In: Jahss M. H., ed. Disorders of the Foot and Ankle 2nd ed. W B Saunders co. – 1991. – Vol. 1. – P. 410-480.

12. Jerosch, J. The stop screw technique: a simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children / J. Jerosch, J. Schunk, H. Abdel-Aziz // Foot Ankle Surg. – 2009. – № 15. – P. 174-178.

13. Eversion and inversion muscle group peak torque in hyperpronated and normal individuals / K. Karatsolis [et al.] // The Foot. – 2009. – № 19. – P. 29-35.

14. Khamis, S. Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position / S. Khamis, Z. Yizhar // Gait & Posture. – 2007. – № 25. – P. 127-134.

15. Kirby, K.A. Subtalar joint axis location and rotational equilibrium theory of foot function / K.A. Kirby // J. Am. Podiatr. Med. Assoc. – 2001. – Vol. 91, № 9. – P. 465-487.

16. Kranicz, J. Korai tapaszatlatok a Calcaneo-stop módszer alkalmazásával a gyermekkori lúdtalp meteti kezeléseben / J. Kranicz, M. Czipri // Magy Traumatol. Ortop. – 2000. – № 43. – P. 177-182.

17. Levens, A.S. Transverse rotations of the segments of the lower extremity in locomotion / A.S. Levens, V.T. Inman, J.A. Blosser // J. Bone Joint Surg. – 1948. – № 30-A. – P. 859-872.

18. Nester, C.J. Rearfoot complex: a review of its interdependent components, axis orientation and functional model / C. J. Nester // The Foot. – 1997. – № 7. – P. 86-96.

19. Olerud, C. Torsion-transmitting properties of the hind foot / C. Olerud, Y. Rosendahl // Clin. Orthop. – 1987. – № 214. – P. 285-294.

20. Otman, S. Energy cost of walking with flatfeet. / S. Otman // Prosthet. Orthot. Int. – 1988. – № 12. – P. 733-778.

21. Pinto, R.Z.A. Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position / R.Z.A. Pinto, T.R. Souza, R.G. Trede, R.N. Kirkwood // Manual Therapy. – 2008. – № 13. – P. 513-519.

22. Prasarn, M.L. Arterial Anatomy of the Talus: A Cadaver and Gadolinium-Enhanced MRI Study / M.L. Prasarn, A.N. Miller, J. P. Dyke // Foot & Ankle Int. – 2010. – Vol. 31, № 11. – P. 987-993.

23. Rocket, A.K. Bilateral intraosseous cystic formation in the talus: a complication of subtalar arthroereisis / A.K. Rocket, G. Mangum, S.S. Mendicino // J. Foot Ankle Surg. – 1996. – № 37. – P. 421-225.

24. Root, M.L. Orien W.P. Weed J.N. Clinical Biomechanics Vol. II : Normal and Abnormal Function of the Foot / M.L. Root, W.P. Orien, J.N. Weed. – Los Angeles: Clinical Biomechanics Corp. 1977.

25. Saito, E.T. Global body posture evaluation in patients with temporomandibular joint disorder / E.T. Saito, P.M.H. Akashi, I.C.N. Sacco // Clinics. – 2009. – Vol. 64, № 1. – P. 9-35.

26. Sarrafian, S.K. Biomechanics of subtalar joint complex / S.K. Sarrafian // Clin. Orthop. And Rel. Research. – 1993. – № 290. – P. 17-26.

27. Seibel, M.O. Foot function: a programmed text / M.O. Seibel. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1988. – 262 p.

28. Siff, T.E. Avascular necrosis of the talus following subtalar arthroereisis with a polyethylene endoprosthesis: a case report / T.E. Siff, W.M. Granberry // Foot Ankle Int. – 2000. – № 21. – P. 247-449.

29. Van Langelaan, E.J. A kinematical analysis of tarsal joints. An x-ray photo grammetric study / E.J. Van Langelaan // Acta Orthop. Scand. – 1983. – Vol. 54, № 204. – P.135-229.

30. Whittle, M.W. Gait analysis: an introduction 4th Ed. / M.W. Whittle//Edinburgh: Butterworth Heinemann Elsevier, 2007. – 255p.

31. Wright, D.G. Action of the subtalar and ankle-joint complex during the stance phase of walking / D.G. Wright, S.M. Sesai, W.H. Henderson // J. Bone Joint Surg. – 1964. – № 46-A. – P. 363.

Поступила 22.09.2011