

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 612.766

### **КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО, КОЛЕННОГО, ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВОВ В НОРМЕ И ПРИ СИНДРОМЕ ГИПЕРМОБИЛЬНОСТИ СУСТАВОВ В ЦИКЛЕ ШАГА\***

**О.И. Воронцова, М.В. Лозовская**

Астраханский государственный университет, Астрахань

При помощи кинематического инструментального метода анализа походки человека проводилось исследование функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов в норме и при синдроме гипермобильности суставов с рецидивирующим подвывихом левого надколенника у девушек в возрасте 12-15 лет в цикле шага. Выявлены значительное увеличение угла наружной ротации коленного сустава в фазе опоры; уменьшение углов сгибания, разгибания, увеличение угла приведения и появление внутренней ротации тазобедренного сустава слева в фазе опоры. Отмечены изменения функции во всех изучаемых суставах в фазе переноса. Результаты исследований лягут в основу таблицы норм кинематического анализа шагового цикла человека разных возрастных групп.

***Ключевые слова:** опорно-двигательный аппарат, цикл шага, кинематический инструментальный метод анализа походки человека, система захвата и анализа движения, качественная и количественная оценка функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного сустава, наследственные нарушения соединительной ткани, синдром гипермобильности суставов.*

**Введение.** Проблема диагностики наследственных нарушений строения и метаболизма соединительной ткани является одной из самых сложных в педиатрии. Наследственные нарушения соединительной ткани (ННСТ) – гетерогенная группа моногенных заболеваний, вызванных генетически обусловленными дефектами синтеза, распада белков внеклеточного матрикса либо нарушениями морфогенеза соединительной ткани (Кадурина, 2014; Абакумова и др., 2016).

---

\* Работа выполнена в рамках Госзадания РФ 12.9588.2017/7.8

Диагностика ННСТ затруднена вследствие разнообразия мутаций, клинического полиморфизма. В МКБ-10 включены только 5 нозологических форм ННСТ, среди которых – синдром гипермобильности суставов (СГМС) (M35.7). Этот синдром характеризуется увеличением диапазона движений в суставах по сравнению со среднестатистической нормой, выявляется в подростковом возрасте с частотой от 6,7 до 39,6% (Дедова и др., 2011; Острополец, 2010; Мартынов и др., 2012). ГМС может быть локализованной и генерализованной, приобретенной и наследственной, в зависимости от наличия артралгий – доброкачественной или синдромальной. Диагноз СГМС ставится при сочетании признаков суставной гипермобильности с клинической симптоматикой (вывихи, подвывихи суставов, артралгии и т.д.). Больные с СГМС подвержены раннему, прогрессирующему развитию остеоартроза (Викторова и др., 2014). ГМС, являясь патологией соединительной ткани, сопровождается ортопедические аномалии (плоскостопие, варусная или вальгусная деформация коленных суставов, сколиоз грудного отдела позвоночника, воронкообразная деформация грудной клетки и т.д.), а также различные висцеральные нарушения: нефроптоз, вторичная аменорея, дисменорея и т.д. (Калаева и др., 2012). Терапия СГМС основана на кинезиотерапии, нацеленной на индивидуальный подбор упражнений для укрепления мышечного корсета, курсовой физиотерапии, использовании ортопедических изделий. Однако актуальной проблемой остается объективная инструментальная оценка диагностических процедур, поиск численных показателей диагностики, количественное определение асимметрий, баланса опорно-двигательного аппарата, сравнение, как различных групп пациентов, так и динамическое наблюдение больного в процессе терапии, экспертная оценка эффекта лечебных процедур и манипуляций.

Целью настоящего исследования является обоснование использования кинематического инструментального метода анализа походки человека для качественной и количественной оценки функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов в норме и при СГМС. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: изучить количественные показатели функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов; оценить возможности кинематического метода анализа походки человека для уточнения диагностических процедур на примере СГМС.

**Методика.** Объектом исследования явились 5 девушек подросткового возраста 12-15 лет с СГМС, с рецидивирующим подвывихом левого надколенника. Исследование проводилось до начала лечения с больными, у которых заболевание выявлено впервые.

Эталонные исследования проведены на 22 здоровых испытуемых женского пола подросткового возраста согласно принятой биологической схеме возрастной периодизации, предложенной Институтом физиологии детей и подростков в 1965 году (Безруких, 2003). Все исследования были выполнены в динамике в процессе ходьбы. Испытуемым предлагалось выполнить серию из 7 проходов по динамометрической платформе, вычислялись средние значения величин углов. Регистрация пиков величин углов проводилась в различных периодах фазы опоры и переноса для каждого сустава (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика периодов фазы опоры и фазы переноса цикла шага для регистрации пиков величин углов вращения

сустав	углы вращения	Фаза опоры				Фаза переноса		
		Периоды						
		НО	СПО	КПО	ПП	НП	СПП	ПОП
Голенистый	Дорсальное сгибание			x			x	
	Плантарное сгибание	x				x		
	Отведение				x	x		
	Внутренняя ротация	x				x		
Коленный	Сгибание	x				x		
	Приведение	x				x		
	Отведение						x	
	Наружная ротация	x				x		
Тазобедренный	Сгибание	x						
	Разгибание				x			
	Приведение		x					
	Отведение					x		
	Внутренняя ротация							
	Наружная ротация		x				x	

*Примечание.* НО – период начальной опоры, СПО – средний период опоры, КПО – конечный период опоры, ПП – период подготовки к переносу, НП – период начала переноса, СПП – средний период переноса, ПОП- период окончания переноса.

Регистрацию биомеханических параметров проводили при помощи системы захвата и анализа движения Vicon (Vicon, Oxford, Great Britain), включающей 10 инфракрасных камер Vicon N40, двухсекционную динамометрическую платформу AMTI (model OR6-5-1000, Watertown MA, USA) и программное обеспечение Vicon Nexus и Vicon Polygon. Предметом исследования были углы вращения в

тазобедренном, коленном и голеностопном суставах (сгибание-разгибание, отведение-приведение, вращение относительно продольной оси). Измерения объема движений в суставах проводились в соответствии с единым принципом измерения угла описательной динамической анатомии человека (угол между дистальной частью конечности и проксимальным ее отделом). В работе использована модель Plug-in-Gait Full body с 40 маркерами, устанавливаемыми на голеностопный, коленный, тазобедренный, локтевой, плечевой и лучезапястный суставы испытуемого в соответствии с руководством (Plug-in-Gait, 2014).

Все полученные данные подвергались статистической обработке методами вариационной и непараметрической статистики. Степень точности исследования определена вероятностью безошибочного прогноза меньшим или равным 0,95% уровнем значимости  $p \leq 0,05$ . В работе использовался универсальный математический пакет MathCad.

**Результаты и обсуждение.** В цикле походки в зависимости от взаимоотношения конечности и опоры выделяют две фазы – опоры и переноса конечности. Фаза опоры конечности – период времени, в течение которого только лидирующая нога находится в контакте с опорной поверхностью. Фаза переноса конечности – период времени, когда лидирующая нога не находится в контакте с опорной поверхностью. Длительность фазы опоры в среднем продолжается от 0 до 60% времени цикла. Фаза переноса длится от 61 до 100% времени цикла, что составляет 40% от всего времени цикла походки. Таким образом, длительность фазы опоры и фазы переноса в нормальном цикле походки составляет соответственно 60 и 40%. В таблице 1 представлены параметры кинематики голеностопного, коленного и тазобедренного сустава в норме, полученные при исследовании условно здоровых девушек подросткового возраста 12-15 лет и параметры подростков с рецидивирующим подвывихом левого надколенника и СГМС.

Установлено увеличение угла наружной ротации коленного сустава при затруднениях наружной ротации тазобедренного сустава у испытуемых с СГМС в фазе опоры. Различные нарушения функций суставов при СГМС как в фазе опоры, так и в фазе переноса шагового цикла, отмечались и ранее (Cimolin, 2011). При этом наиболее подвержены изменениям по сравнению с нормой функции ротации голеностопного, коленного и тазобедренного суставов (Bates, 2016). СГМС чаще всего сопровождается вывихами и подвывихами суставов, в частности надколенника (Аббакумова, 2006), голеностопного сустава (Правдюк, 2008).

В настоящем исследовании установлены следующие изменения функций тазобедренного сустава в фазе опоры при СГМС: уменьшение углов сгибания, разгибания, увеличение угла приведения и появление

внутренней ротации. Выраженное увеличение угла внутренней ротации слева сопровождается значительным увеличением угла наружной ротации справа, продолжающейся и в фазе переноса, что является компенсацией. Выраженная внутренняя ротация слева – патологическая установка сустава, так как в норме тазобедренный сустав находится в состоянии наружной ротации (Доэрти, 1993).

Таблица 2

Кинематические параметры движений голеностопного, коленного, тазобедренного суставов в шаговом цикле у здоровых испытуемых и подростков с СГМС

сустав		Фаза опоры		Фаза переноса	
		норма	СГМС	норма	СГМС
Голеностопный	Углы вращения				
	Дорсальное сгибание	21,7±1,20	21,5±1,30	3,4±1,20	15,4±0,90*
	Плантарное сгибание	5,1±0,40	5,7±0,50	12,5±1,10	6,5±0,60*
	Отведение	9,6±2,10	5,5±0,72	3,5±1,9	2,7±2,32
	Внутренняя ротация	22,6±3,60	30,3±2,50	13,6±2,15	18,8±1,95
Коленный	Сгибание	22,8±2,30	20,0±1,55	63,2±3,3	53,3±2,4*
	Приведение	5,7±2,03	1,7±0,96	17,4±2,43	0*
	Отведение	0	0	0	2,7±0,30*
	Наружная ротация	7,6±1,56	46,9±3,10*	5,8±2,86	34,3±2,45*
Тазобедренный	Сгибание	32,4±1,60	27,6±1,20*	31,8±1,50	30,5±1,30
	Разгибание	6,4±0,90	3,5±0,50*	0	0
	Приведение	1,3±0,30	9,4±0,40*	0	0
	Отведение	0	0	9,1±0,50	1,2±0,20*
	Внутренняя ротация	0	7,4±1,20*	4,3±2,20	2,2±1,50
	Наружная ротация	30,7±2,05	0*	20,3±7,80	0*

*Примечание.* \* - значимые различия средних 1 и 2 групп при  $p < 0,05$ .

В фазе переноса отмечены изменения функционального состояния всех изучаемых суставов. Установлено достоверное увеличение угла дорсального сгибания и уменьшение – плантарного сгибания в голеностопном суставе. Аналогичные изменения у пациентов с гипермобильностью суставов отмечались и ранее при использовании количественного анализа походки (Rigoldi, 2012). СГМС сопровождается возможностью отведения и ограничением приведения, а также увеличением угла наружной ротации и уменьшением угла сгибания в коленном суставе в фазе переноса. Это, вероятно,

свидетельствует о прогрессии медиального и латерального отделов коленного сустава, что является причиной относительного удлинения левой нижней конечности в фазе переноса. Такое удлинение компенсируется уменьшением угла плантарного сгибания голеностопного сустава в момент отрыва стопы от поверхности с целью предотвращения ее контакта при переносе. Полученные результаты согласованы с более ранними работами, в которых отмечались увеличение угла отведения коленного сустава, вращения нижней конечности наружу у лиц с СГМС (Galli, 2011; Seidel, 2013). Нами отмечено затруднения наружной ротации в тазобедренном суставе и уменьшение угла отведения этого сустава в фазе переноса при СГМС.

**Заключение.** В клинической практике имеется необходимость совершенствовать методы анализа кинематических данных, разрабатывать основу для ранней и точной диагностики различных патологий опорно-двигательного аппарата, в том числе и при СГМС. Ранее движения нижних конечностей регистрировались при помощи гониометров (Ateshian, 2009), элетромагнитных (Бирюкова и др., 2010) и других систем. Предлагается использовать кинематический инструментальный метод исследования функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов при СГМС в цикле шага человека. В настоящем исследовании приведены количественные показатели функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов для лиц женского пола подросткового возраста (14-17 лет) в норме и при СГМС, что станет основой таблицы норм кинематического анализа шагового цикла человека разных возрастных групп.

Сравнение значения кинематических показателей функционального состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов здоровой и больной конечности позволяет в динамике отслеживать процесс восстановления утраченных функций. В исследовании отмечены механизмы коактивации двигательной функции нижней конечности для сохранения баланса походки. Кинематический анализ цикла шага выявил у испытуемых с СГМС и рецидивирующем подвывихом левого надколенника в фазе переноса изменения функционального состояния голеностопного, коленного, тазобедренного, а в фазе опоры - коленного, тазобедренного суставов. Признаком патологии явились уменьшение угла приведения и появление способности к отведению коленного сустава в фазе переноса. Появление внутренней ротации тазобедренного сустава в фазе опоры сопровождается отсутствием наружной ротации этого сустава как в фазе опоры, так и в фазе переноса.

### Список литературы

- Аббакумова Л.Н.* 2006. Клинические формы дисплазии соединительной ткани у детей. Методические рекомендации. СПб.: СПбГПМА, 2006. 45 с.
- Бирюкова Е.В., Гурьев В.В., Зоря В.И., Прокопенко Р.А., Фролов А.А.* 2010. Биомеханический анализ показателей движений в тазобедренном, коленном и голеностопных суставах у больных с кокартрозом как метод функциональной диагностики // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. №6 (76). Ч. 1. С. 21-30.
- Викторова И.А.* 2004. Методология курации пациентов с дисплазией соединительной ткани семейным врачом в аспекте профилактики ранней и внезапной смерти: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Омск.
- Возрастная физиология.* 2003. Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / М.М. Безруких, В.Д. Сонькин, Д.А. Фарбер. М.: Издательский центр «Академия». 416 с.
- Дедова В. О., Доценко Н. Я., Боев С.С.* 2011. Распространенность дисплазии соединительной ткани // Медицина и образование в СИБИРИ. № 2. С.31-37.
- Мартынов А.И., Яковлев В.М., Нечаева Г.И.* 2013. Диагностика и тактика ведения пациентов с дисплазией соединительной ткани в условиях первичной медико-санитарной помощи: методические рекомендации. Омск: Изд-во ОмГМА. 135 с.
- Кадурина Т.И., Аббакумова Л.Н.* 2014. Дисплазия соединительной ткани: путь к диагнозу // Вестник Ивановской медицинской академии. Т.19. №3. с. 5-11.
- Калаева Г.Ю., Зайцева А.Х., Хохлова О.И.* 2012. Клинико-функциональные проявления недифференцированной дисплазии соединительной ткани у подростков // Педиатрия. Т. 91. № 2. С. 135-139.
- Острополец С.С.* 2010. К проблеме недифференцированной дисплазии соединительной ткани у детей // Педиатрические аспекты дисплазии соединительной ткани. Достижения и перспективы: Рос. сб. науч. тр. М.–Тверь–СПб.: ООО РГ «ПРЕ100». С. 62-65.
- Правдюк Н.Г., Шостак Н.А.* 2008. Гипермобильный синдром: клинические проявления, дифференциальный диагноз. Подходы к терапии // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. № 3. Т. 4. С. 70 -75.
- Руководство по использованию программного модуля «Plug-In-Gait» [Электронный ресурс] // Plug-In-Gait Режим доступа: <http://www.uta.edu/faculty/ricard/Classes/KINE-5350/PIGManualver1.pdf> (23.02.2017)*
- Ateshian G.A., Friedman M.H.* 2009. Integrative biomechanics: A paradigm for clinical applications of fundamental mechanics // J. Biomechanics. Vol.42. – P.1444-1451
- Bates A.V., McGregor A.H., Alexander C.M.* 2016. Reliability and minimal detectable change of gait kinematics in people who are hypermobile // Gait Posture. Vol.44. P.37-42.
- Cimolin V., Galli M., Vismara L., Grugni G., Camerota F., Celletti C.* 2011. Gait pattern in two rare genetic conditions characterized by muscular hypotonia: Ehlers-Danlos and Prader-Willi syndrome // Research in Developmental Disabilities. V. 32. P. 1722-1728.
- Galli M., Cimolin V., Rigoldi C., Castori M., Celletti C., Albertini G.* 2011. Gait strategy in patients with Ehlers-Danlos syndrome hypermobility type: a kinematic and kinetic evaluation using 3D gait analysis // Research Developmental Disabilities. V. 32. P. 1663-1668.
- Rigoldi C., Galli M., Cimolin V., Camerota F., Celletti C., Tenore N.* 2012. Gait strategy in patients with Ehlers-Danlos syndrome hypermobility type and Down syndrome // Research Developmental Disabilities. V. 33. P. 1437-1442.

## **INSTRUMENTAL KINEMATIC ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE HIP, KNEE AND ANKLE JOINTS IN NORMAL AND AT HYPERMOBILITY SYNDROME JOINTS IN CYCLE STEP**

**O.I. Vorontsova, M.V. Lozovskaya**  
Astrakhan State University, Astrakhan

We used the kinematic instrumental method to analyze the functional state of the hip, knee and ankle joint in girls of 12-15 years old in norm and under the hypermobility syndrome with recurrent subluxation of the left patella. A significant increase in the angle of external rotation of the knee joint in the support phase was revealed; we also demonstrated the decrease in the angles of flexion, extension, and increase in the angle of rotation and the appearance of internal rotation of the hip joint on the left in the support phase. Changes in function in all joints studied in the transfer phase were noted. The results of the research will form the basis for the table of norms of the kinematic analysis of the step-cycle of a person of different age groups.

**Keywords:** *musculoskeletal system, gait cycle, kinematic parameters of the lower limbs of a person, system of motion capture and analysis, instrumental method of analysis of the volume of joint movements, hereditary connective tissue disorders, hypermobility syndrome of joints.*

*Об авторах:*

ВОРОНЦОВА Ольга Ивановна – кандидат политических наук, руководитель Инновационно-технологического центра по созданию мультимедиа-контента, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», 414056, Астрахань, ул. Татищева 20а, e-mail: aspuvorontsova@gmail.com

ЛОЗОВСКАЯ Марина Вячеславовна – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биотехнологии, зоологии и аквакультуры, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», 414056, Астрахань, ул. Татищева 20а, e-mail: moyana12@mail.ru

Воронцова О.И. Кинематический инструментальный анализ состояния тазобедренного, коленного, голеностопного суставов в норме и при синдроме гипермобильности суставов в цикле шага / О.И. Воронцова, М.В. Лозовская // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2017. № 4. С. 184-191.