

УДК 531/534: [57+61]

## **ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ МЕДИАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПРОЕКЦИИ ОБЩЕГО ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ ПРИ ХОДЬБЕ**

**Т.И. Долганова, Д.В. Долганов, Т.И. Менщикова, Н.В. Сазонова**

Федеральное государственное учреждение «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" имени академика Г.А. Илизарова Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации», 640014, Россия, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, e-mail: rjik532007@rambler.ru

**Аннотация.** Методами подографии («ДиаСлед-Скан», г. С.-Петербург), компьютерной оптической топографии (г. Новосибирск), сонографии («VOLUSON-730PRO», Австрия) проведено комплексное обследование 368 детей и подростков в возрасте 6–17 лет для оценки диагностической информативности качественных и количественных характеристик траектории общего центра давления (ОЦД), проецируемой на горизонтальную плоскость при ходьбе. Сделаны выводы: медиальное смещение траектории ОЦД при подографическом анализе локомоторных стереотипов является вариантом компенсаторно-приспособительного механизма опорно-двигательной системы, проявляющимся в результате естественного роста под влиянием аллометрических процессов. У подростков до 14 лет при ходьбе в ускоренном режиме его величины по показателю  $dX$  менее 25% могут считаться допустимой возрастной нормой. Локомоторные стереотипы при величинах медиального смещения ОЦД от 26 до 40% можно расценивать как субкомпенсированные и при отсутствии с ростом ребенка положительной динамики в контролируемых величинах рассматривать как показания к углубленному исследованию ортопедического статуса пациента. Стереотипы с медиальным смещением траектории ОЦД более 40% оказались сопряжены с дисплазиями тазобедренного сустава и явились очевидным признаком двигательной патологии.

**Ключевые слова:** двигательная патология, локомоторный стереотип, подография.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В зависимости от тяжести и особенностей поражения опорно-двигательной системы локомоторный стереотип пациентов претерпевает значительные изменения. Меняются временные и силовые характеристики опорных реакций стоп. Циклические характеристики опорных реакций становятся нестабильными и начинают значительно варьировать. В результате нарушается циклическая идентичность опорных реакций не только между конечностями, но и относительно самих себя. Наблюдаемая изменчивость контролируемых параметров, даже в масштабе проводимого единичного обследования, бывает столь значительной, что требует при выборе регистрируемой для диагностической интерпретации величины соответствующего обоснования [4, 6].

Не исключением оказались и некоторые визуально определяемые качественные признаки регистрируемых подограмм, примечательных по характерному медиальному смещению траектории проекции общего центра давления на горизонтальную плоскость при ходьбе. В подографии регистрацию значений асимметрии нагружения свыше 25% и величин отклонения временных показателей цикла шага от нормативных на 4–5% принято рассматривать в качестве двигательной патологии [7]. Изменения формы траектории общего центра давления, являющиеся качественным параметром, также требуют диагностической конкретизации.

Цель исследования – выяснить диагностическую информативность некоторых качественных и количественных характеристик траектории проекции общего центра давления (ОЦД) на горизонтальную плоскость у детей и подростков при ходьбе.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено комплексное обследование 368 детей и подростков в возрасте 6–17 лет, которые обратились в поликлинику Центра с целью профилактического осмотра и по жалобам на состояние опорно-двигательного аппарата.

Оценка статических и динамических параметров ходьбы производилась с помощью комплекса «ДиаСлед-Скан», г. С.-Петербург. Регистрация параметров проводилась в ортостатике при привычном и максимально ускоренном темпе ходьбы. Проходимая дистанция составляла 10 метров. Во время ходьбы определялись временные и силовые параметры цикла шага. Относительно массы тела определялась величина пиков переднего и заднего толчков, демпферного провала (%). Оценивалась максимальная нагрузка ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ) на отделы стопы, продольные и поперечные девиации шага. По каждому показателю рассчитывался коэффициент асимметрии (%), определявшийся путем сопоставления значения величин, регистрируемых на правой и левой конечностях.

Ультразвуковое исследование тазобедренных суставов проведено на аппарате «VOLUSON-730PRO» (Австрия) с использованием источника звуковых колебаний частотой 7,5 МГц, работающего в режиме реального времени. Сканирование тазобедренных суставов осуществляли в положении больного лежа на спине, при нейтральном положении тазобедренных суставов. Датчик устанавливали продольно и поперечно длине оси сегмента, над областью соответствующей анатомической проекции головки бедренной кости. При стандартном ультрасонографическом сканировании оценивали сферичность головки бедра, конгруэнтность поверхностей головки и вертлужной впадины, структурное состояние субхондрального слоя (горизонтальный срез). При сканировании вдоль длины оси бедра визуализировалась капсула сустава с фиброзной оболочкой, зона роста (сагиттальный срез).

Комплексная трехплоскостная оценка нарушений осанки осуществлялась методом компьютерной оптической топографии [12]. Для этого использовали иерархическую систему индексов нарушения дорсальной поверхности туловища в отдельных плоскостях: фронтальной ( $PTI_F$ ) горизонтальной ( $PTI_G$ ), сагиттальной ( $PTI_S$ ), а также общий интегральный индекс ( $PTI$ ), соответствующий верхнему уровню иерархии и определяемый как квадратичное среднее интегральных индексов для трех плоскостей [11].

На основании данных ультразвукового обследования тазобедренных суставов и компьютерной оптической топографии было выделено 6 групп обследованных:

1-я группа – не выявлено патологии по данным УЗИ и компьютерной топографии (120 человек);

2-я группа – по данным УЗИ – патологии не выявлено, по данным компьютерной топографии – нарушение осанки (70 человек);

3-я группа – по данным УЗИ – гипертрофия синовиальной капсулы, по данным компьютерной топографии – патологии не выявлено (53 человека);

4-я группа – по данным УЗИ – гипертрофия синовиальной капсулы, по данным компьютерной топографии – нарушение осанки (30 человек);

5-я группа – по данным УЗИ – дисплазия тазобедренного сустава, по данным компьютерной топографии патологии не выявлено (51 человек);

6-я группа – по данным УЗИ – дисплазия тазобедренного сустава, по данным компьютерной топографии – нарушение осанки (44 человека).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 1 представлены данные опорных реакций стоп у детей 1-й группы.

У детей и подростков с возрастом уменьшается асимметрия временных и силовых показателей цикла шага правой и левой конечностей, увеличиваются относительные значения переднего и заднего толчка и к 14 годам все расчетные показатели достоверно не отличаются от значений нормы взрослых [5].

Таблица 1

Основные расчетные показатели графиков суммарной нагрузки на стопы у детей и подростков в норме ( $M \pm m$ )

Расчетный показатель	7–9 лет ( $n = 45$ )		10–13 лет ( $n = 54$ )		14–17 лет ( $n = 21$ )	
	Значение	Асимметрия, %	Значение	Асимметрия, %	Значение	Асимметрия, %
Период переката через стопу, с	0,40±0,004	3,38±0,51	0,41±0,007	3,84±0,59	0,44±0,007	3,26±0,52
Период переноса конечности над опорой, с	0,27±0,003	7,07±0,72	0,27±0,004	5,22±0,88	0,28±0,007	3,21±0,90
Двухопорный период шага, с	0,06±0,002	16,3±3,27	0,06±0,002	16,2±2,67	0,07±0,002	15,2±1,79
Главный минимум нагрузки, % от веса	25,6±1,61	21,1±2,91	33,3±1,31	20,9±2,35	41,1±2,47	14,8±2,31
Передний толчок, % от веса	40,7±1,51	20,9±2,27	49,3±1,87	20,4±2,22	55,9±2,33	15,0±2,12
Задний толчок, % от веса	49,7±2,14	22,2±2,68	59,3±2,02	19,2±1,65	72,0±4,15	13,1±2,44
Вариабельность траектории центра давления, % от ширины стопы	13,8±0,58	25,8±4,32	16,6±0,52	21,8±2,36	17,7±0,76	19,2±2,77
Длина траектории центра давления, % от длины стопы	56,8±0,99	6,55±0,89	55,7±0,72	7,1±0,75	58,2±0,96	3,99±0,78
Площадь девиаций траектории центра давления, усл.ед.	29,8±4,52		15,7±2,23		11,3±2,02	
Асимметрия средней максимальной нагрузки на стопы в статике, %	21,2±3,07		23,4±2,30		18,8±2,97	
Асимметрия средней максимальной нагрузки на стопы в динамике, %	22,5±2,79		20,4±2,45		9,17±2,35	

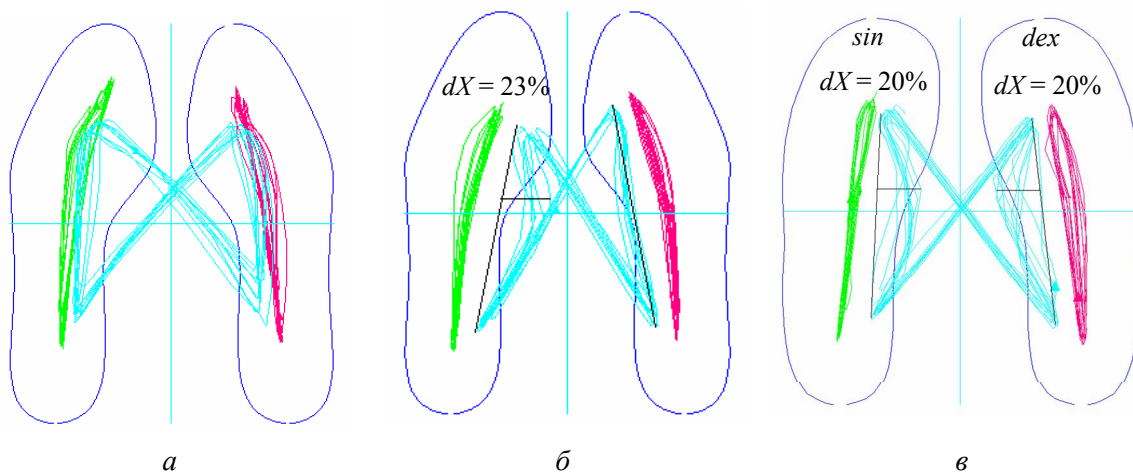


Рис. 1. Проекция траектории ОЦД на горизонтальную плоскость при ходьбе:  
*a* – отсутствует медиальное смещение; *б* – медиальное смещение слева ( $dX = 23\%$ );  
*в* – медиальное смещение справа ( $dX = 20\%$ ), слева ( $dX = 20\%$ )

Таблица 2

**Регистрация (% выявления) медиального смещения ОЦД в группах обследованных детей и подростков ( $n$  – число наблюдений)**

Группа	Возраст, лет					
	6–9		10–13		14–17	
	$n$	% выявления в группе	$n$	% выявления в группе	$n$	% выявления в группе
1	45	60	54	53,7	21	23,8
2	29	62	26	57,6	15	20
3	14	64,3	23	65,2	16	18,7
4	16	93,7	7	85,7	7	85,7
5	44	100	7	100	–	–
6	37	100	7	100	–	–

В процессе обследования при ходьбе у некоторых детей и подростков выявлялись изменения в траектории ОЦД на горизонтальную плоскость. Изменения касались стороны «бабочки», траектория ОЦД которой становилась вогнутой к центру (медиальное смещение) либо с одной, либо с двух сторон (рис. 1). При этом для количественной оценки максимальных значений медиального смещения его величины оценивали по параметру  $dX$  (% от ширины стопы).

Частота регистрации (% выявления) медиального смещения ОЦД в зависимости от возраста представлена в табл. 2, а его величина в табл. 3.

В 1–3-й группах обследованных с возрастом количество случаев медиального смещения ОЦД уменьшается с 60 до 23% и его величина не имеет достоверных различий, не превышая 10% по  $dX$  при привычном темпе и 25% по  $dX$  при быстром темпе ходьбы. Анализ подограмм не выявил зависимости увеличения асимметрии временных и силовых параметров цикла шага от величины медиального смещения ОЦД.

Таблица 3

**Величина ( $dX$ , %) медиального смещения ОЦД при различном темпе ходьбы ( $M \pm m$ ,  $n$  – число наблюдений)**

Группа	Возраст, лет								
	6–9			10–13			14–17		
	$n$	Темп ходьбы		$n$	Темп ходьбы		$n$	Темп ходьбы	
		привычный $dX$ , %	быстрый $dX$ , %		привычный $dX$ , %	быстрый $dX$ , %		привычный $dX$ , %	быстрый $dX$ , %
1	27	6,9 ±2,3	20,1 ±3,8	29	7,9 ±2,9	18,1 ±3,4	5	7,5 ±2,1	16,5 ±3,0
2	18	6,3 ±2,5	20,4 ±3,0	15	6,5 ±3,0	19,1 ±4,1	3	5,6 ±1,9	19,1 ±3,2
3	9	6,7 ±2,8	18,1 ±3,3	15	6,7 ±3,1	18,4 ±4,0	3	7,6 ±2,2	15,3 ±3,9
4	15	20,0 ±3,5*	33,6 ±5,1*	6	18,1 ±4,0*	30,0 ±5,2*	6	10,5 ±2,7	17,3 ±4,0
5	44	20,5 ±4,2*	31,6 ±5,4*	7	18,6 ±4,3*	30,1 ±4,9*	–		
6	37	26,6 ±5,5*	34,2 ±5,3*	7	22,7 ±4,0*	29,9 ±4,7*	–		

Примечание: \* – достоверность ( $p < 0,05$ ) отличий от значений 1-й группы

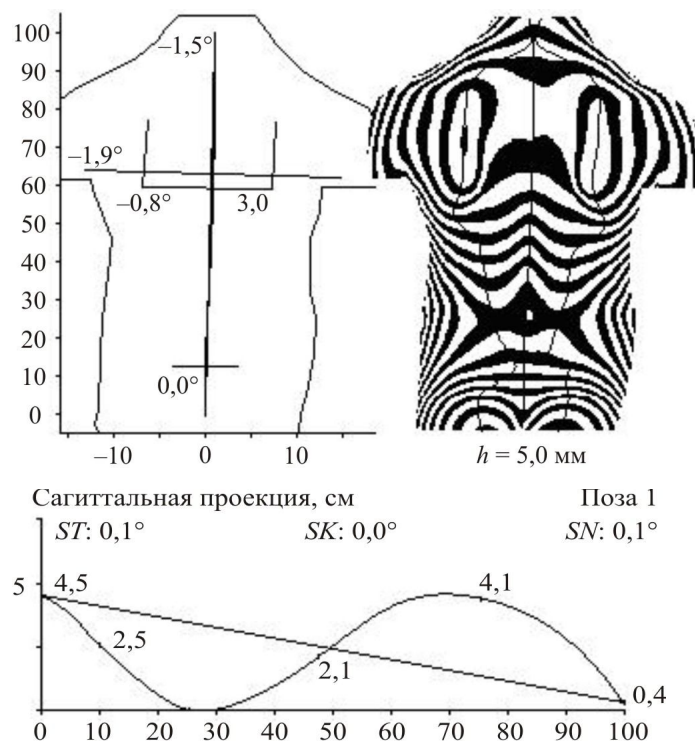


Рис. 2. Топограмма пациента М., 11 лет.  $DS$ : Нарушения осанки: сколиотическая осанка во фронтальной плоскости и кругло-вогнутая спина в сагиттальной проекции

В 5, 6-й группах, где по данным УЗИ выявлены дисплазия тазобедренного сустава и нарушения осанки (рис. 2), у всех обследованных имело место медиальное смещение ОЦД с достоверным увеличением его величины как при привычном ( $dX$  до 30%), так и при возможно быстром темпе ходьбы ( $dX$  до 40%). Медиальное смещение ОЦД более выражено на интактной или, по данным УЗИ, на менее пораженной стороне, что позволяет интерпретировать его как компенсаторно-приспособительную реакцию при патологической ходьбе, соответствующую общему правилу: движение менее пораженной ноги приспособляется к движениям более пораженной конечности, так как именно она определяет все основные характеристики локомоции [2, 13].

У пациентов 5, 6-й групп более выраженное медиальное смещение ОЦД сопровождалось увеличением длины траектории ОЦД на той же стороне с разницей показателей более 10%.

Аналогичные величины смещения ОЦД, но в меньшем проценте наблюдений выявляются среди пациентов 4-й группы, где регистрируется сочетанное отклонение от нормы по данным УЗИ (гипертрофия синовиальной капсулы) и по данным компьютерной топографии (нарушение осанки).

Динамическое наблюдение за детьми 2, 3, 4-й групп не выявило однонаправленности динамики изменений по подографии, УЗИ и компьютерной топографии. У пациентов 5, 6-й групп уменьшение величины медиального смещения соответствовало положительной динамике только по данным УЗИ.

Механизм торсионного развития сегментов нижней конечности в норме представляет собой чрезвычайно сложный процесс. Торсионное развитие осуществляется вследствие натяжения мышц, способствующих скручиванию костей вокруг их продольных осей и возникновению на них различных изгибов. Всё это обеспечивает развитие необходимых анатомических форм для наиболее выгодного с позиций биомеханики функционирования нижней конечности [3, 9]. Весь комплекс приспособительных изменений, ведущих к нормальному развитию биомеханики вертикальной ходьбы человека в онтогенезе, начинается с функции мышц таза. У взрослых сокращение подвздошно-поясничной мышцы совместно с другими обеспечивает сгибание и наружную ротацию бедра через точку опоры его головки в области передневерхнего края вертлужной впадины, образуя рычаг второго рода. При активном сгибании бедра подвздошно-поясничная мышца развивает силу, превышающую вес нижней конечности и усилие мышц, сохраняющих равновесие конечности при движении в сагиттальной плоскости. В этом процессе также принимает непосредственное участие задняя группа мышц наружных ротаторов бедра, которые, прикрепляясь к области межвертельной ямки, играют роль антагонистов подвздошно-поясничной мышцы. Такое прикрепление мышц к проксимальному отделу бедренной кости вызывает внутреннюю торсию бедра и содействует постепенному уменьшению угла антеторсии. Постепенная внутренняя торсия бедра и связанное с этим уменьшение угла антеторсии являются нормальным физиологическим процессом, коленный сустав из варусного положения переходит к физиологическому вальгусному положению. В таком случае биомеханическая ось нижней конечности проходит через середины тазобедренного и коленного суставов и близко к наружному краю блока таранной кости, вследствие чего суставы нагружаются равномерно [1, 10].

Считаем, что выявляемое медиальное смещение траектории ОЦД на горизонтальной плоскости отражает возрастной процесс торсионного развития нижней конечности, поэтому в процессе роста ребенка регистрируется его уменьшение. Недостаточная коррекция торсии приводит к развитию деформаций, дистрофических процессов, нарушениям биомеханики, явлениям раннего коксартроза [8]. У пациентов при отсутствии с ростом ребенка динамики уменьшения величины медиального смещения ОЦД по данным УЗИ выявлялись патологические изменения в экоструктуре тазобедренного сустава и по данным топографии увеличение степени нарушения осанки до появления топографических признаков сколиоза.

В процессе клинического наблюдения детей с выявленной по данным УЗИ дисплазией тазобедренного сустава в 5% случаев регистрируются длительные нарушения топографических и подографических характеристик двигательных стереотипов: постуральных (поддержание баланса тела в основной стойке) и локомоторных (поддержание баланса тела при ходьбе), проявляющиеся в виде медиального смещения ОЦД (рис. 3) и прогрессировании нарушений осанки во фронтальной (сколиотическая) и сагиттальной (кругло-вогнутая спина) плоскостях.

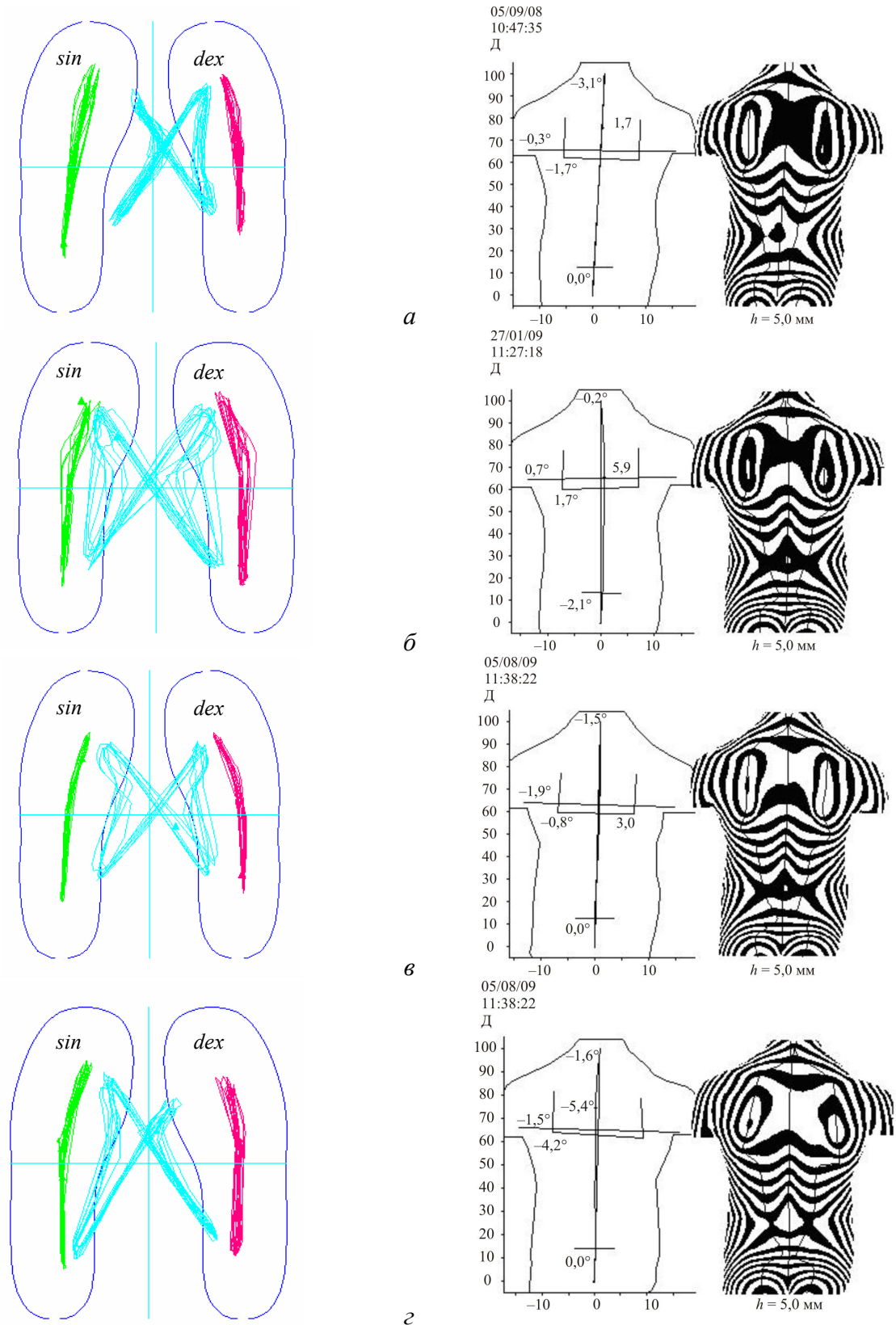


Рис. 3. Пациент Д.: *a* – обследование 05.09.08 г. – 7 лет; *б* – обследование 27.01.09 г. – 7,5 лет; *в* – обследование 31.08.09 г. – 8 лет; *г* – обследование 10.08.10 г. – 9 лет. По данным подографии изменения локомоторного стереотипа проявлялись в смене медиального смещения ОЦД с левой на правую конечность, по данным топографии изменения в постуральной ортостатической активности проявились в нарастании асимметрии формы туловища от нарушений осанки (избыточный наклон туловища во фронтальной плоскости) до топографических признаков сколиотической деформации позвоночника 1-й степени

Так как при отсутствии ортопедической патологии изменения постуральных и локомоторных стереотипов, по-видимому, возможны только за счет процессов выраженного аллометрического роста (греч. *allos* – другой и *metron* – мера, непропорциональность роста отдельных частей тела [14]), мы считаем, что аллометрический рост является одним из факторов возникновения предрасположенности к развитию ортопедических заболеваний в детском возрасте. По нашим представлениям, выраженный аллометрический рост на начальных этапах приводит к латеральным асимметриям, изменению опорной биомеханики и нарушению двигательных стереотипов. В последующем, если под влиянием аллометрических процессов нарушенные двигательные стереотипы не превышают компенсаторно-приспособительных возможностей опорно-двигательной системы, то они клинически не проявляются. Если же под воздействием чрезмерно продолжительных или чрезмерно возрастающих нагрузок возникающие функциональные декомпенсации усиливают двигательную патологию, то запускаются процессы, приводящие к формированию выявляемых заболеваний на органном уровне.

### Выводы

1. Медиальное смещение проекции ОЦД при подографическом анализе локомоторных стереотипов является вариантом компенсаторно-приспособительного механизма опорно-двигательной системы, который в отдельных случаях проявляется у детей в процессе естественного аллометрического роста.
2. У подростков до 14 лет при ходьбе в ускоренном темпе величина медиального смещения проекции ОЦД по показателю  $dX$  менее 25% может считаться полностью компенсированной, а локомоторный стереотип с такими характеристиками рассматриваться в качестве возрастной нормы.
3. Состояние локомоторной функции при величинах медиального смещения проекции ОЦД от 26 до 40% можно расценивать как субкомпенсированное, а факт отсутствия с возрастом ребенка положительной динамики в контролируемых величинах – как показание к углубленному исследованию ортопедического статуса пациента.
4. Медиальное смещение траектории проекции ОЦД более 40%, наблюдаемое при декомпенсированных состояниях локомоторной функции, оказалось сопряженным с дисплазиями тазобедренного сустава и явилось признаком двигательной патологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.П. Остеометрия. Методика антропологических исследований. – М.: Наука, 1966. – С. 72–85.
2. Витензон А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: Зеркало-М, 1998. – 271с.
3. Гафаров Х.З. Лечение деформаций стоп у детей. – Казань: Татарское книжное издательство, 1990. – 176 с.
4. Долганов Д.В. Проблемы диагностики состояний опорно-двигательной системы, связанные с изменчивостью контролируемых параметров в масштабе реального обследования // Цивьяновские чтения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 25–26 ноября). – Новосибирск, 2010. – С. 29–31.
5. Долганов Д.В., Долганова Т.И., Сазонова Н.В., Щуров В.А. Некоторые количественные показатели биомеханических параметров походки у здоровых обследуемых // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. XV, № 3. – С. 123.
6. Долганова Т.И., Менщикова Т.И., Аранович А.М., Долганов Д.В. Качественный анализ подограмм у пациентов с ахондроплазией после окончания этапов удлинения нижних конечностей // Всероссийский вестник гильдии ортопедов-протезистов. – 2009. – № 2. – С. 35–39.
7. Каземирский В.Е. Место биомеханических исследований в ранней диагностике диспластических коксартрозов у подростков // Вестник Всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. – 2008. – № 2(32). – С. 23–26.



8. Куценок Я.Б., Коваль Д.Е. Клинико-биомеханические аспекты торсии бедренной кости // Биомеханика. – Рига, 1975. – С. 429–433.
9. Лирцман В.М., Зоря В.И., Гнетецкий С.Ф. Проблема лечения переломов шейки бедра на рубеже столетий // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н.Приорова. – 1997. – № 2. – С. 12–18.
10. Николаенко В.Н., Фомичева О.А., Жмурко Р.С. [и др.] Индивидуально-типологические особенности морфogeометрии проксимального отдела бедренной кости // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2010. – Т. 6, № 1. – С. 36–39.
11. Сарнадский В.Н., Садовой М.А., Фомичев Н.Г. Способ компьютерной оптической топографии тела человека и устройство для его осуществления. Евразийский патент № 000111, 1998. Заявл. 26.08.96.
12. Сарнадский В.Н., Фомичев Н.Г., Садовой М.А. Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии: пособие для врачей МЗ РФ. – Новосибирск: НИИТО, 2003. – 44 с.
13. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. – Иваново: Стимул, 1996 – 344 с.
14. Юрьев В.В., Симаходский Ф.С., Воронович Н.Н., Хомич М.М. Рост и развитие ребенка: краткий справочник. – СПб: Питер, 2008. – 272 с.

## **DIAGNOSTIC INFORMATIVE POTENTIAL OF THE MEDIAL DISPLACEMENT OF THE TRAJECTORY PROJECTION OF OVERALL CENTRE OF PRESSURE IN CHILDREN AND ADOLESCENTS DURING WALKING**

**T.I. Dolganova, D.V. Dolganov, T.I. Menshchikova, N.V. Sazonova (Kurgan, Russia)**

Complex examination of 368 children and adolescents at the age of 6–17 years has been performed to evaluate the diagnostic information potential of the qualitative and quantitative characteristics of the trajectory of overall centre of pressure (OCP) projected on the horizontal plane during walking; the examination was made using the methods of podography ("DiaSled-Scan", St. Petersburg), computer optic topography (Novosibirsk), sonography ("VOLUSON–730PRO", Austria). The following conclusions have been made: The medial displacement of OCP trajectory in the podographic analysis of locomotor stereotypes is a variant of the compensatory-and-adaptive mechanism of the locomotor system, which manifests itself as a result of natural growth under the influence of allometric processes. Its values by  $dX < 25\%$  can be considered to be a permissible age-related norm in adolescents below 14 years during accelerated walking. The locomotor stereotypes for the values of OCP medial displacement from 26% to 40% can be considered as subcompensated and, in case of the absence of positive dynamics in the values controlled with child's growth, they can be considered to be indications for detailed studying patient's orthopaedic status. The stereotypes with more than 40% medial displacement of OCP trajectory appeared to be connected with the hip dysplasia and were an obvious sign of motor pathology.

**Key words:** motor pathology, locomotor stereotype, podography.

*Получено 20 мая 2011*