



КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОПОГРАФИЯ: ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ СО СКОЛИОЗОМ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ПОЗЕ

В.Н. Сарнадский

ООО «Медицинские топографические системы «МЕТОС», Новосибирск

Цель исследования. Изучение влияния телодвижений пациентов со сколиозом при удержании ими естественной позы без фиксации на точность оценки угла латеральной асимметрии и других топографических параметров.

Материал и методы. В исследование включены шесть пациентов, имеющих рентгенологически подтвержденный диагноз «структуральный сколиоз I–III ст.». Пациентов обследовали на системе ТОДП в естественной позе с маркировкой и десятикратной съемкой с интервалом 2 с.

Результаты. Для каждого пациента рассчитали средние значения и среднеквадратические отклонения основных топографических параметров. Установили, что движения туловища носят случайный, аperiodический характер и индивидуальны для каждого пациента. Разброс основных топографических параметров у пациентов превосходит инструментальную погрешность системы ТОДП и напрямую зависит от стабильности позы пациентов. Однако даже для пациентов с неустойчивой позой максимальное среднеквадратическое отклонение угла латеральной асимметрии основной сколиотической дуги составило $1,8^\circ$, что вполне приемлемо для клинической практики.

Заключение. Метод компьютерной топографии при условии корректной маркировки анатомических ориентиров обеспечивает приемлемую точность оценки величины искривления позвоночника у пациентов со структуральным сколиозом при обследовании их в естественной позе без фиксации.

Ключевые слова: компьютерная оптическая топография, диагностика структурального сколиоза, повторяемость результатов инструментального обследования пациентов.

COMPUTER OPTICAL TOPOGRAPHY: VARIABILITY OF RESULTS IN PATIENTS WITH SCOLIOSIS EXAMINED IN A NATURAL POSE

V.N. Sarnadsky

Objective. To study the influence which postural sway of a scoliosis patient holding natural pose without fixation exerts on the accuracy of lateral asymmetry angle estimation and other topographic parameters.

Material and Methods. The study included six patients with x-ray confirmed grade I–III structural scoliosis. Patients were examined in a natural pose with labeling using TODP system (Optical Topograph for Spinal Deformities) by means of ten-shot series with 2 sec interval.

Results. Mean values and standard deviations of main topographic parameters were calculated for each patient. It was found that trunk movements have a random and aperiodic nature and are individual for each patient. Dispersion of basic topographic parameters in patients was greater than the instrumental error of TODP system and absolutely depended on stability of patient's pose. However, even for patients with unstable pose, maximal standard deviation of lateral asymmetry angle for main scoliotic curve was 1.8° , which is quite acceptable for clinic practice.

Conclusion. Computer optical topography provides an acceptable accuracy of lateral asymmetry angle estimation in patients with structural scoliosis examined in a natural pose without fixation in case of correct labeling of the anatomical landmarks performed.

Key Words: computer optical topography, diagnosis of structural scoliosis, repeatability of results of instrumental examination of patients.

Hir. Pozvonoc. 2010;(4):74–85.

В Новосибирском НИИТО с 1994 г. используют метод компьютерной оптической топографии (КОМОТ) рельефа тела человека [2], на его основе создана ТОДП — первая отечественная медицинская топографическая система для диагностики деформаций позвоночника и нарушений осанки у детей и подростков. Эта система после необходимых клинических испытаний допущена Минздравом Российской Федерации к применению в медицинской практике, в настоящее время ее широко используют в детской ортопедии.

Система ТОДП позволяет бесконтактно определять трехмерную форму поверхности туловища пациента в абсолютной системе координат. Принцип действия ТОДП состоит в проецировании оптического изображения вертикальных параллельных полос на обследуемую поверхность и регистрации этих полос ТВ-камерой. Регистрируемые полосы деформируются пропорционально рельефу обследуемой поверхности и несут детальную информацию о форме поверхности в виде дополнительной фазовой модуляции спроецированных полос. По введенному в компьютер изображению таких полос с помощью специальных алгоритмов [5] восстанавливают цифровую модель обследуемой поверхности туловища пациента в каждой точке исходного снимка. По этой модели и выделенным на ней анатомическим ориентирам костных структур рассчитывают топографические параметры для комплексной количественной оценки осанки и состояния позвоночника пациентов в трех плоскостях (фронтальной, горизонтальной и сагиттальной). По топографическим данным строят трехмерную модель линии центров масс тел позвонков (осевой линии позвоночника), по которой выявляют сколиотические дуги с определением угла латеральной асимметрии, топографического аналога угла по Cobb, являющегося золотым стандартом современной ортопедии.

Топографический угол кривизны позвоночника сопоставим с углом по Cobb, но не равен ему, так как рас-

считывается по внешней поверхности туловища, то есть по мягким тканям, а не по костным структурам. Существует ряд факторов, влияющих на расхождение топографического и рентгенологического углов:

- угол Cobb расчерчивают по рентгенограммам, имеющим перспективные искажения, а при построении топографической модели осевой линии позвоночника перспективные искажения корректируют;
- по-разному определяют границы сколиотических дуг: угол Cobb расчерчивают по замыкательным пластинкам тел нейтральных позвонков, а для топографического угла в качестве границ дуг используют точки перегиба фронтальной проекции осевой линии позвоночника;
- по-разному определяют угол искривления позвоночного столба: топографическим углом является разность углов наклона осевой линии позвоночника на границах дуги, а для угла Cobb берут разность углов наклона тел граничных позвонков (боковой наклон этих позвонков относительно осевой линии позвоночника может увеличить или уменьшить угол Cobb).

Еще один фактор для расхождения, который в перспективе может быть устранен, обусловлен тем, что модель осевой линии позвоночника строят по среднестатистическим данным и не учитывают индивидуальных особенностей каждого пациента (развитость мускулатуры и толщину жировой прослойки, форму грудной клетки и т. д.).

На вариабельность угла латеральной асимметрии, как и других топографических параметров, определенное влияние оказывают телодвижения пациента при удержании им вертикальной позы. Недавно появились публикации, авторы которых утверждают, что топографические данные подвержены влиянию артефактов позы (*postural sway*), поэтому не могут быть расценены как объективные [8]; видеорастерография кажется полезной для научных исследований, однако величина тех-

нической ошибки настолько велика, что не может обеспечить возможность давать заключения для индивидуального случая, особенно для пациентов со сколиозом [9]. Хотя оба эти утверждения касаются немецкой топографической системы «Formetric», которая работает по методу видеорастерографии и использует другие принципы обработки снимков (по сравнению с системой ТОДП) и методику обследования пациентов без маркировки анатомических ориентиров костных структур, тем не менее они бросают тень на оптическую топографию в целом. Наш 16-летний опыт клинического применения метода КОМОТ в России позволяет не согласиться с вышеупомянутыми мнениями.

Цель работы — исследование влияния телодвижений пациентов со сколиозом при удержании ими естественной позы без фиксации на точность оценки угла латеральной асимметрии и других топографических параметров.

Материал и методы

На топографической системе ТОДП фирмы «МЕТОС» в естественной позе путем десятикратной съемки с интервалом 2 с обследованы шесть пациентов с рентгенологически подтвержденным диагнозом структурального сколиоза I—III ст. (рентгенограммы сделаны за месяц до данного исследования). На рис. 1 приведены рентгенограммы позвоночника этих пациентов в прямой проекции в положении стоя; результаты топографического обследования: исходные снимки (вторая полоса картинок); 3D-модель дорсальной поверхности туловища с раскраской паравертебральной асимметрии (третья полоса картинок: телесный цвет модели соответствует асимметрии менее 1 мм, серый — до 2,5 мм, желтый — до 5 мм, сиреневый — до 10 мм, темно-красный — до 20 мм, светло-красный — до 40 мм, ярко-красный — более 40 мм) и 3D-модель с раскраской кривизны поверхности (нижняя полоса картинок: красный цвет соответствует выпуклостям поверхности,

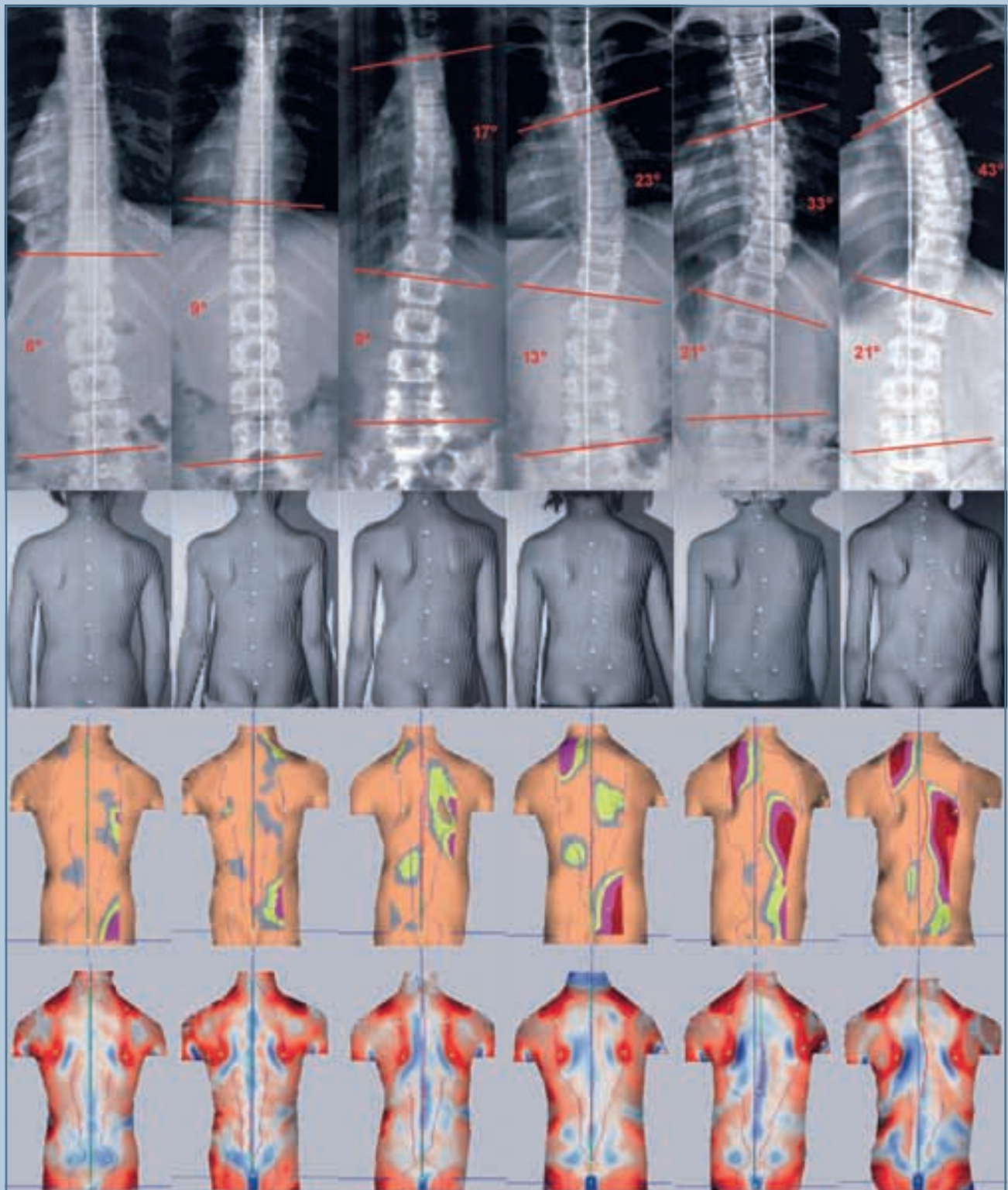


Рис. 1

Рентгенограммы и результаты топографического обследования пациентов, включенных в исследование (П1–П6 слева направо)

синий — вогнутостям). На 3D-моделях построены оси декартовой системы координат с началом в вершине межъягодичной складки.

Средний возраст пациентов $9,99 \pm 0,29$ лет. Далее по тексту статьи пациенты обозначены в соответствии с рис. 1 как П1—П6. Пациенты П1—П5 — девочки, пациент П6 — мальчик. Все пациенты имеют левостороннюю поясничную дугу. Для П1 и П2 она является основной (угол по Cobb — 6 и 9° соответственно), а для П3—П6 основной является правосторонняя грудная дуга (угол по Cobb — 17, 23, 33 и 43° соответственно). Пациенты П4—П6 имеют третью левостороннюю дугу в верхнегрудном отделе позвоночника. Перед топографическим обследованием пациентам наклеили пассивные светоотражающие маркеры (светлые пятна на рис. 1) по стандартной схеме, которую используют для мониторинга [7]. Маркерами помечают вершины левой и правой задних

подвздошных остей и линию остистых отростков позвоночника, начиная от уровня С7 и заканчивая точкой на 5 мм выше вершины межъягодичной складки (SC). Этот дополнительный, по сравнению со стандартной схемой, маркер использовали в данном эксперименте для более точной оценки положения таза. При обследовании пациентам предлагали принять естественную позу и удерживать ее в течение съемки, при этом положение пациентов не фиксировали, они стояли с открытыми глазами.

Понятие естественной позы автор ввел для стандартизации топографического обследования пациентов, оно близко по содержанию понятию основной стойки в стабилотрии. Естественная поза предполагает следующее положение пациента в вертикальной непринужденной позе: пациент стоит без напряжения мышц, в привычной для него позе, стопы поставлены параллельно (расстояние

по внутренней границе между стопами составляет 4–5 см) и выровнены по пяткам, вес распределен равномерно на обе ноги, голова держится ровно и прямо, взгляд направлен вперед, руки свободно свисают по сторонам туловища.

В данном исследовании для съемки использовали режим ввода серии снимков, который обеспечивает ввод заданного числа снимков с установленным временным интервалом между снимками (10 снимков с интервалом 2 с).

Результаты

Полученные серии из 10 снимков обработали в автоматическом режиме современной версии программного обеспечения системы ТОДП (WTOPO 3.42009), результаты экспортировали в формат программы «Microsoft Excel» для дальнейшего статистического анализа. Анализу подвергли 66 топографических параметров, крат-

Таблица 1

Топографические параметры дорсальной поверхности туловища [7]

№	Параметр	Краткое описание
Ориентация туловища: F — фронтальная плоскость, G — горизонтальная плоскость, S — сагиттальная плоскость		
1	FH, град.	Угол наклона плечевого пояса (отрезка по линии подмышечных складок) относительно горизонтали
2	FS, град.	Угол наклона нижних углов лопаток относительно горизонтали
3	FP, град.	Угол перекоса таза (отрезка по линии задних подвздошных остей) относительно горизонтали
4	FT, град.	Угол наклона туловища (по линии С7 — межъягодичная складка) относительно вертикали
5	GH, град.	Угол поворота плечевого пояса (отрезка по линии подмышечных складок) относительно вертикали
6	GS, град.	Угол поворота нижних углов лопаток относительно вертикали
7	GP, град.	Угол поворота таза (отрезка по линии задних подвздошных остей) относительно вертикали
8	GT, град.	Угол скручивания туловища: поворот плечевого пояса относительно таза (GH-GP)
9	SK, град.	Угол наклона кпереди-кзади вершины грудной кифоза относительно межъягодичной складки
10	SN, град.	Угол наклона кпереди-кзади С7 относительно вершины поясничного лордоза
11	ST, град.	Угол наклона кпереди-кзади туловища в сагиттальной плоскости
12	SA1, град.	Угол наклона кпереди-кзади таза (крестца) относительно вертикали в сагиттальной плоскости
13	SA2, град.	Угол наклона кпереди-кзади груднопоясничного отдела позвоночника на границе лордоз-кифоз
14	SA3, град.	Угол наклона кпереди-кзади верхнегрудного отдела позвоночника на уровне С7
Положение и ориентация левой (L) и правой (R) лопаток		
15	GSL, град.	Угол разворота левой лопатки в горизонтальной плоскости
16	GSR, град.	Угол разворота правой лопатки в горизонтальной плоскости
17	SSL, град.	Угол наклона кпереди-кзади медиального края левой лопатки в сагиттальной плоскости
18	SSR, град.	Угол наклона кпереди-кзади медиального края правой лопатки в сагиттальной плоскости
19	H1SL, мм	Высота стояния нижнего угла левой лопатки от уровня остистых отростков
20	H1SR, мм	Высота стояния нижнего угла правой лопатки от уровня остистых отростков
21	H2SL, мм	Высота крыловидности левой лопатки (стояния нижнего угла от уровня грудной клетки)
22	H2SR, мм	Высота крыловидности правой лопатки (стояния нижнего угла от уровня грудной клетки)

Окончание таблицы 1

Топографические параметры дорсальной поверхности туловища

№	Параметр	Краткое описание
Положение и ориентация левой (L) и правой (R) лопаток		
23	DSL, мм	Расстояние от угла левой лопатки до линии С7 — вершина межъягодичной складки
24	DSR, мм	Расстояние от угла правой лопатки до линии С7 — вершина межъягодичной складки
Физиологические изгибы позвоночника в сагиттальной плоскости: поясничный лордоз (L) и грудной кифоз (K)		
25	HL, мм	Высота поясничного лордоза — максимальное углубление кпереди в поясничном отделе позвоночника
26	A1L, град.	Описанный угол дуги поясничного лордоза
27	A2L, град.	Вписанный угол дуги поясничного лордоза
28	A3L, град.	Проективный угол дуги поясничного лордоза
29	HL, мм	Интегральная нормированная (к длине туловища) высота поясничного лордоза
30	DAL, %	Отклонение от нормы уровня на относительной шкале расположения вершины поясничного лордоза
31	HK, мм	Высота грудного кифоза — максимальное отклонение кзади в грудном отделе позвоночника
32	A1K, град.	Описанный угол дуги грудного кифоза
33	A2K, град.	Вписанный угол дуги грудного кифоза
34	A3K, град.	Проективный угол дуги грудного кифоза
35	HK, мм	Интегральная нормированная (к длине туловища) высота грудного кифоза
36	DAK, %	Отклонение от нормы уровня на относительной шкале расположения вершины грудного кифоза
37	IDLK, %	Отклонение от нормы уровня на относительной шкале границы поясничного лордоза и грудного кифоза
Ротационная деформация туловища в горизонтальной плоскости		
38	R1S, град.	Среднеквадратическое отклонение графика «ДТУгл»
39	R2S, град.	Среднеквадратическое отклонение графика «ПВУгл»
40	VS, мм	Среднеквадратическое отклонение графика «Объем»
Сколиотические дуги (боковое искривление) позвоночника в поясничном (L) и грудном (T) отделах		
41	L_L1, %	Уровень на относительной шкале нижней границы поясничной дуги
42	L_L2, %	Уровень на относительной шкале вершины (апекса) поясничной дуги
43	L_L3, %	Уровень на относительной шкале верхней границы поясничной дуги
44	L_LA, град.	Угол латеральной асимметрии поясничной дуги — угол бокового искривления, аналог угла по Cobb
45	L_RA, град.	Угол ротации в вершине поясничной дуги относительно нижней и верхней границ дуги
46	L_IA, град.	Интегральный угол поясничной дуги: $(L_LA + 3 * L_RA) / 2$
47	T_L1, %	Уровень на относительной шкале нижней границы грудной дуги
48	T_L2, %	Уровень на относительной шкале вершины (апекса) грудной дуги
49	T_L3, %	Уровень на относительной шкале верхней границы грудной дуги
50	T_LA, град.	Угол латеральной асимметрии грудной дуги — угол бокового искривления, аналог угла по Cobb
51	T_RA, град.	Угол ротации в вершине грудной дуги относительно нижней и верхней границ дуги
52	T_IA, град.	Интегральный угол грудной дуги: $(T_LA + 3 * T_RA) / 2$
Интегральные индексы нарушений формы дорсальной поверхности туловища		
53	PTI	Общий интегральный индекс нарушений формы дорсальной поверхности туловища
54	PTI-F	Интегральный индекс для фронтальной плоскости
55	PTI-G	Интегральный индекс для горизонтальной плоскости
56	PTI-S	Интегральный индекс для сагиттальной плоскости
57	PTI-OF	Интегральный индекс нарушения ориентации во фронтальной плоскости
58	PTI-OG	Интегральный индекс нарушения ориентации в горизонтальной плоскости
59	PTI-OS	Интегральный индекс нарушения ориентации в сагиттальной плоскости
60	PTI-SV	Интегральный индекс отклонения средних значений параметров лопаток
61	PTI-SA	Интегральный индекс асимметрии ориентации и положения лопаток
62	PTI-DF	Интегральный индекс деформации формы туловища во фронтальной плоскости
63	PTI-DG	Интегральный индекс нарушения ориентации в горизонтальной плоскости
64	PTI-DS	Интегральный индекс нарушения ориентации в сагиттальной плоскости
Продольно-поперечные размеры туловища		
65	Lng, мм	Длина туловища: расстояние от остистого отростка С7 до вершины межъягодичной складки
66	RWL, %	Отношение расстояния между подмышечными складками к длине туловища

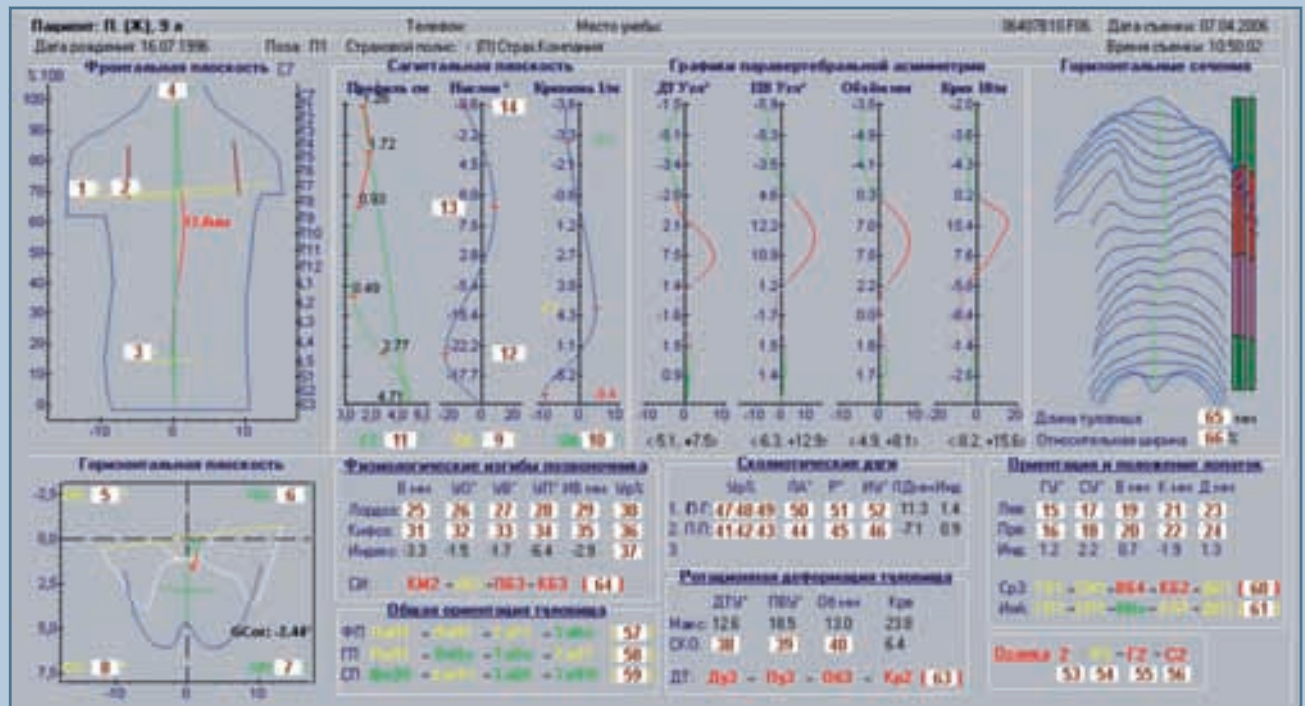


Рис. 2

Экранная форма результатов топографического обследования (программный пакет «WTOPO 3.4 2009») с нумерацией (в соответствии с табл. 1, 2) основных топографических параметров дорсальной поверхности туловища

кое описание которых приведено в табл. 1. На рис. 2 приведена экранная форма результатов топографического обследования с нумерацией параметров в соответствии с табл. 1, 2. В табл. 2 представлены средние значения и среднеквадратические отклонения этих параметров для пациентов П1–П6 и для манекена, которого можно рассматривать как идеального, полностью неподвижного пациента. Пластиковый манекен, изготовленный по слепку спины пациента со сколиозом III ст., уже ранее использовали для исследования точности [3] и повторяемости [4] результатов топографического обследования на системе ТОДП.

В данном исследовании результаты, приведенные в табл. 2 для манекена, позволяют оценить уровень инструментальных (технических, по терминологии зарубежных коллег) погрешностей системы ТОДП и сопоставить

их с разбросом параметров, получаемых для пациентов. Так, рассчитанное для манекена среднеквадратическое отклонение координат X, Y, Z точки C7 (самый верхний маркер на рис. 1) составило соответственно 0,03; 0,05; 0,12 мм; среднеквадратическое отклонение координат точки SC (самый нижний маркер на рис. 1) — 0,01; 0,04; 0,12 мм; а значение среднеквадратического отклонения параметра I_{gn} (параметр 65 табл. 1, 2), рассчитываемого по этим точкам, равно 0,06 мм.

Для анализа телодвижений пациентов при съемке на рис. 3 построены графики каждой из координат точек C7 и SP в абсолютной декартовой системе координат X, Y, Z, начало которой находится на установочной платформе пациента системы ТОДП (середина платформы по ширине соответствует значению 0 по координате X, поверхность платформы — 0 по координате Y, край планки для выравнивания

пяток — 0 по координате Z; при этом ось X направлена слева направо, Y — снизу вверх, а Z — от платформы в сторону ТВ-камеры).

На рис. 3 представлены графики общего интегрального индекса РТ1 (параметр 53) и угла латеральной асимметрии основной сколиотической дуги LA (параметр 44 для П1–П2, параметр 50 для П3–П6), отражающие изменение этих параметров от снимка к снимку, то есть через каждые 2 с.

На рис. 4 представлены траектории движения точек SC и C7 в плоскости XZ, в которой наблюдается основной объем движения туловища пациентов. Анализ указанных графиков на рис. 3 и траекторий на рис. 4 позволяет установить, что движения туловища носят случайный, аперидический характер и индивидуальны для каждого пациента.

В табл. 3 приведены параметры, оценивающие метрически для каждо-

Таблица 2
Средние значения среднеквадратических отклонений (СКО) основных топографических параметров для П1–П6

№	Параметр	Манекен	П1	П2	П3	П4	П5	П6	СКО*	Отн.**
1	FN, град.	7,06 ± 0,03	-2,48 ± 0,84	0,06 ± 0,64	1,31 ± 1,37	3,31 ± 0,95	3,22 ± 1,61	4,16 ± 1,02	1,07	36,6
2	FS, град.	0,67 ± 0,24	-3,96 ± 0,83	0,30 ± 1,03	-0,34 ± 2,93	2,57 ± 1,07	3,54 ± 0,79	0,57 ± 1,28	1,32	5,5
3	FP, град.	2,69 ± 0,03	0,48 ± 0,12	2,44 ± 0,28	0,25 ± 0,16	3,68 ± 0,37	1,63 ± 0,29	1,31 ± 0,40	0,27	9,0
4	FT, град.	3,54 ± 0,01	0,29 ± 0,11	0,90 ± 0,19	-0,05 ± 0,24	1,09 ± 0,39	-0,66 ± 0,35	-0,58 ± 0,56	0,31	31,0
5	GN, град.	-0,35 ± 0,06	0,98 ± 0,41	0,48 ± 0,55	-1,47 ± 0,55	-2,34 ± 0,85	-2,28 ± 1,34	-4,11 ± 0,69	0,73	12,2
6	GS, град.	2,49 ± 0,06	0,41 ± 0,28	0,98 ± 0,30	3,73 ± 0,90	1,80 ± 0,71	-0,96 ± 0,59	3,89 ± 0,23	0,50	8,3
7	GP, град.	-1,84 ± 0,06	1,54 ± 0,40	3,06 ± 0,41	-0,54 ± 0,51	5,07 ± 0,60	1,90 ± 0,27	1,46 ± 0,72	0,48	8,0
8	GT, град.	1,49 ± 0,11	-0,56 ± 0,47	-2,58 ± 0,81	-0,93 ± 0,62	-7,41 ± 1,28	-4,18 ± 1,32	-5,57 ± 1,28	0,96	8,7
9	SK, град.	-5,72 ± 0,02	-2,69 ± 0,21	-3,01 ± 0,34	0,41 ± 0,41	-1,41 ± 0,54	-4,62 ± 0,48	-2,14 ± 0,99	0,50	25,0
10	SN, град.	-1,32 ± 0,06	1,10 ± 0,24	-2,66 ± 0,37	2,82 ± 0,37	-5,14 ± 0,72	2,98 ± 0,74	-2,87 ± 0,99	0,57	9,5
11	ST, град.	-3,52 ± 0,03	0,79 ± 0,22	-2,84 ± 0,35	1,61 ± 0,35	-3,27 ± 0,53	-0,82 ± 0,50	-2,51 ± 0,98	0,49	16,3
12	SA1, град.	-30,53 ± 0,06	-27,97 ± 0,18	-17,46 ± 0,88	-19,34 ± 0,34	-11,03 ± 0,55	-22,11 ± 0,95	-15,64 ± 1,02	0,65	10,8
13	SA2, град.	16,15 ± 0,03	15,76 ± 0,28	6,58 ± 0,35	18,87 ± 0,64	3,47 ± 1,09	9,55 ± 0,81	6,01 ± 1,63	0,80	26,6
14	SA3, град.	-20,41 ± 0,28	-19,46 ± 0,98	-24,15 ± 1,33	-24,80 ± 1,83	-37,88 ± 1,56	-9,51 ± 1,58	-28,53 ± 1,36	1,44	5,1
15	GSL, град.	31,71 ± 0,12	31,74 ± 0,32	23,36 ± 0,58	19,26 ± 0,90	27,48 ± 0,42	28,01 ± 1,76	29,89 ± 0,86	0,81	6,8
16	GSR, град.	33,86 ± 0,19	31,58 ± 0,59	26,03 ± 0,89	26,96 ± 1,63	34,68 ± 0,53	39,10 ± 1,25	37,74 ± 0,93	0,97	5,1
17	SSL, град.	10,86 ± 0,35	12,07 ± 2,53	9,87 ± 2,40	5,94 ± 1,29	5,21 ± 1,58	11,90 ± 0,80	2,22 ± 1,59	1,70	4,9
18	SSR, град.	12,92 ± 0,15	11,60 ± 0,79	7,81 ± 1,34	10,40 ± 1,39	11,61 ± 2,12	18,89 ± 0,81	15,57 ± 0,82	1,21	8,1
19	H1SL, мм	9,79 ± 0,06	13,02 ± 0,65	16,19 ± 0,75	15,05 ± 0,92	15,68 ± 0,89	25,34 ± 1,57	12,20 ± 1,35	1,02	17,0
20	H1SR, мм	17,16 ± 0,12	11,32 ± 0,37	16,10 ± 0,62	24,27 ± 1,65	24,46 ± 1,16	28,39 ± 3,00	30,12 ± 1,15	1,32	11,0
21	H2SL, мм	15,25 ± 0,14	9,86 ± 0,46	10,83 ± 0,37	14,01 ± 0,61	15,43 ± 1,13	24,08 ± 1,41	22,48 ± 1,17	0,86	6,1
22	H2SR, мм	2,21 ± 0,24	10,13 ± 0,15	11,89 ± 0,56	15,02 ± 1,24	13,48 ± 1,27	12,96 ± 2,22	16,74 ± 1,10	1,09	4,5
23	DSL, мм	65,19 ± 0,31	74,39 ± 1,02	63,97 ± 1,40	43,33 ± 1,89	58,72 ± 2,62	59,48 ± 1,43	51,68 ± 1,50	1,64	5,3
24	DSR, мм	83,20 ± 0,58	72,26 ± 1,01	66,06 ± 1,19	64,10 ± 2,53	73,23 ± 1,98	90,44 ± 1,33	79,11 ± 1,34	1,56	2,7
25	HL, мм	35,90 ± 0,30	26,60 ± 0,30	15,10 ± 0,50	25,70 ± 0,50	8,10 ± 1,70	23,50 ± 1,70	14,90 ± 1,50	1,00	3,3
26	A1L, град.	46,67 ± 0,06	43,74 ± 0,34	24,04 ± 1,00	38,21 ± 0,76	14,50 ± 0,86	31,66 ± 1,31	21,65 ± 1,34	0,93	15,5
27	A2L, град.	32,19 ± 0,16	30,12 ± 0,26	16,29 ± 0,72	25,56 ± 0,41	9,99 ± 0,47	20,21 ± 1,11	15,67 ± 1,49	0,74	4,6
28	A3L, град.	7,19 ± 0,05	6,24 ± 0,07	2,94 ± 0,15	5,75 ± 0,17	0,35 ± 0,47	7,36 ± 0,59	2,49 ± 0,50	0,29	5,8
29	H1L, мм	32,40 ± 0,20	28,70 ± 0,30	16,20 ± 0,60	26,40 ± 0,50	8,30 ± 1,00	24,80 ± 1,60	15,00 ± 1,40	0,90	4,5
30	DAL, %	0,24 ± 0,22	-2,56 ± 0,17	-1,77 ± 0,46	4,37 ± 0,25	0,88 ± 1,00	10,01 ± 0,57	-2,74 ± 0,99	0,57	2,6
31	HK, мм	27,00 ± 0,30	21,70 ± 0,30	14,80 ± 0,60	22,80 ± 0,90	20,30 ± 1,50	6,50 ± 0,50	18,70 ± 1,00	0,80	2,7
32	A1K, град.	36,56 ± 0,29	35,22 ± 0,82	30,73 ± 1,33	43,67 ± 2,07	41,35 ± 2,15	19,06 ± 1,62	34,54 ± 2,56	1,76	6,1
33	A2K, град.	24,43 ± 0,12	20,83 ± 0,22	17,35 ± 0,49	25,90 ± 0,87	23,25 ± 1,06	10,29 ± 0,81	20,13 ± 0,87	0,72	6,0
34	A3K, град.	2,79 ± 0,03	2,45 ± 0,07	2,59 ± 0,09	3,33 ± 0,23	4,08 ± 0,25	-0,24 ± 0,20	3,22 ± 0,16	0,17	5,7
35	HK, мм	24,50 ± 0,20	22,30 ± 0,30	17,80 ± 0,60	25,60 ± 1,00	24,10 ± 1,30	8,30 ± 0,70	20,90 ± 1,00	0,80	4,0

Окончание таблицы 2
Средние значения среднеквадратических отклонений (СКО) основных топографических параметров для П1–П6

№	Параметр	Манекен	П1	П2	П3	П4	П5	П6	СКО*	Отн.**
36	DAK, %	1,63 ± 0,19	1,45 ± 0,44	6,97 ± 0,52	5,86 ± 0,15	10,49 ± 0,77	12,94 ± 0,76	7,99 ± 0,52	0,49	2,6
37	IDLK, %	-4,74 ± 0,28	-0,54 ± 0,30	-7,14 ± 0,93	-9,36 ± 0,30	-6,45 ± 3,84	-20,37 ± 0,75	-5,27 ± 1,44	1,26	4,5
38	R1S, град.	5,74 ± 0,04	1,53 ± 0,26	1,45 ± 0,21	2,22 ± 0,27	3,99 ± 0,45	3,39 ± 0,26	4,95 ± 0,15	0,26	6,5
39	R2S, град.	9,75 ± 0,03	1,42 ± 0,08	1,65 ± 0,11	3,47 ± 0,18	4,86 ± 0,24	5,66 ± 0,38	8,38 ± 0,24	0,21	7,0
40	VS, мм	5,46 ± 0,01	1,06 ± 0,06	0,84 ± 0,11	1,38 ± 0,18	2,97 ± 0,31	3,93 ± 0,28	5,40 ± 0,11	0,18	18,0
41	L_L1, %	20,79 ± 0,63	18,86 ± 1,72	13,99 ± 0,97	20,34 ± 0,97	27,12 ± 1,52	21,93 ± 0,79	15,81 ± 0,55	1,49	2,4
42	L_L2, %	35,59 ± 0,67	34,91 ± 0,81	26,74 ± 1,08	34,34 ± 0,72	42,79 ± 1,21	35,10 ± 0,76	30,17 ± 0,48	0,79	1,2
43	L_L3, %	48,09 ± 0,38	46,62 ± 1,13	41,98 ± 2,99	48,83 ± 0,86	54,46 ± 1,94	47,47 ± 2,54	44,27 ± 0,82	1,29	3,4
44	L_LA, град.	-12,08 ± 0,09	-6,68 ± 0,56	-10,09 ± 0,82	-12,51 ± 0,57	-17,28 ± 1,43	-23,94 ± 0,42	-26,45 ± 0,49	0,97	10,7
45	L_RA, град.	-4,37 ± 0,17	-2,28 ± 0,23	-2,21 ± 0,29	-4,37 ± 0,35	-5,99 ± 0,99	-5,59 ± 0,84	-7,22 ± 0,40	0,72	4,2
46	L_LA, град.	12,73 ± 0,30	7,18 ± 0,60	8,56 ± 0,63	13,52 ± 0,77	17,76 ± 2,55	21,60 ± 1,69	27,42 ± 0,87	1,46	4,9
47	T_L1, %	48,09 ± 0,38	—	41,98 ± 2,99	48,83 ± 0,86	54,46 ± 1,94	47,47 ± 2,54	44,27 ± 0,82	1,34	3,5
48	T_L2, %	62,12 ± 0,17	—	58,39 ± 1,87	64,64 ± 2,76	66,12 ± 0,74	59,36 ± 0,62	60,23 ± 0,79	1,42	8,4
49	T_L3, %	81,29 ± 1,05	—	78,17 ± 3,47	85,57 ± 3,94	79,95 ± 1,33	74,24 ± 0,97	79,44 ± 0,45	2,54	2,4
50	T_LA, град.	29,50 ± 0,31	—	4,52 ± 0,66	16,00 ± 0,76	23,31 ± 1,83	33,91 ± 1,26	42,15 ± 0,80	0,75	1,6
51	T_RA, град.	13,33 ± 0,80	—	3,20 ± 0,33	4,68 ± 1,51	6,45 ± 1,01	8,87 ± 1,75	14,33 ± 0,80	0,76	1,0
52	T_LA, град.	34,61 ± 1,40	—	7,34 ± 0,50	15,41 ± 2,25	22,14 ± 1,92	30,87 ± 3,65	44,63 ± 1,18	1,57	1,1
53	PTI	2,11 ± 0,01	0,83 ± 0,02	0,96 ± 0,03	1,14 ± 0,05	1,86 ± 0,12	2,13 ± 0,10	2,27 ± 0,04	0,06	6,0
54	PTI-F	2,13 ± 0,02	0,59 ± 0,07	0,80 ± 0,07	0,99 ± 0,10	1,31 ± 0,14	1,71 ± 0,07	2,03 ± 0,09	0,09	4,5
55	PTI-G	2,52 ± 0,01	0,70 ± 0,06	1,02 ± 0,08	1,36 ± 0,06	2,33 ± 0,20	2,15 ± 0,21	3,15 ± 0,12	0,12	12,0
56	PTI-S	1,58 ± 0,02	1,11 ± 0,03	1,03 ± 0,06	1,04 ± 0,05	1,80 ± 0,10	2,44 ± 0,09	1,14 ± 0,12	0,08	4,0
57	PTI-OF	2,44 ± 0,01	0,97 ± 0,19	0,96 ± 0,10	0,64 ± 0,26	1,61 ± 0,24	1,20 ± 0,21	1,07 ± 0,16	0,19	19,0
58	PTI-OG	0,69 ± 0,02	0,41 ± 0,10	0,85 ± 1,08	0,85 ± 0,18	1,90 ± 0,27	1,06 ± 0,34	1,63 ± 0,24	0,21	10,5
59	PTI-OS	1,93 ± 0,00	1,17 ± 0,03	1,08 ± 0,13	0,72 ± 0,11	1,52 ± 0,16	1,21 ± 0,07	1,00 ± 0,34	0,14	14,0
60	PTI-SV	1,19 ± 0,03	0,50 ± 0,08	0,69 ± 0,06	1,33 ± 0,12	1,22 ± 0,11	2,09 ± 0,18	1,88 ± 0,13	0,11	3,7
61	PTI-SA	2,16 ± 0,03	0,22 ± 0,07	0,37 ± 0,21	1,15 ± 0,11	1,08 ± 0,17	1,37 ± 0,08	1,96 ± 0,13	0,13	4,3
62	PTI-DF	2,14 ± 0,03	0,39 ± 0,05	0,86 ± 0,13	1,26 ± 0,15	1,13 ± 0,21	2,40 ± 0,07	3,03 ± 0,09	0,12	4,0
63	PTI-DG	4,34 ± 0,01	0,99 ± 0,09	1,20 ± 0,14	1,86 ± 0,08	2,75 ± 0,15	3,24 ± 0,23	4,68 ± 0,16	0,14	14,0
64	PTI-DS	1,49 ± 0,04	1,19 ± 0,04	1,07 ± 0,06	1,15 ± 0,05	2,03 ± 0,14	3,08 ± 0,14	1,09 ± 0,08	0,09	2,3
65	Lng, мм (м)	499,46 ± 0,06	432,05 ± 0,58	406,00 ± 0,25	432,96 ± 1,83	421,00 ± 0,97	415,00 ± 1,62	431,75 ± 1,90	1,32	22,0
66	RWL, %	58,28 ± 0,03	64,12 ± 0,41	64,05 ± 0,47	56,47 ± 0,66	65,08 ± 0,62	61,89 ± 0,78	63,16 ± 0,69	0,60	20,0

* среднее значение СКО параметров для П1–П6;
** отношение среднего значения СКО параметров к значению СКО для манекена.

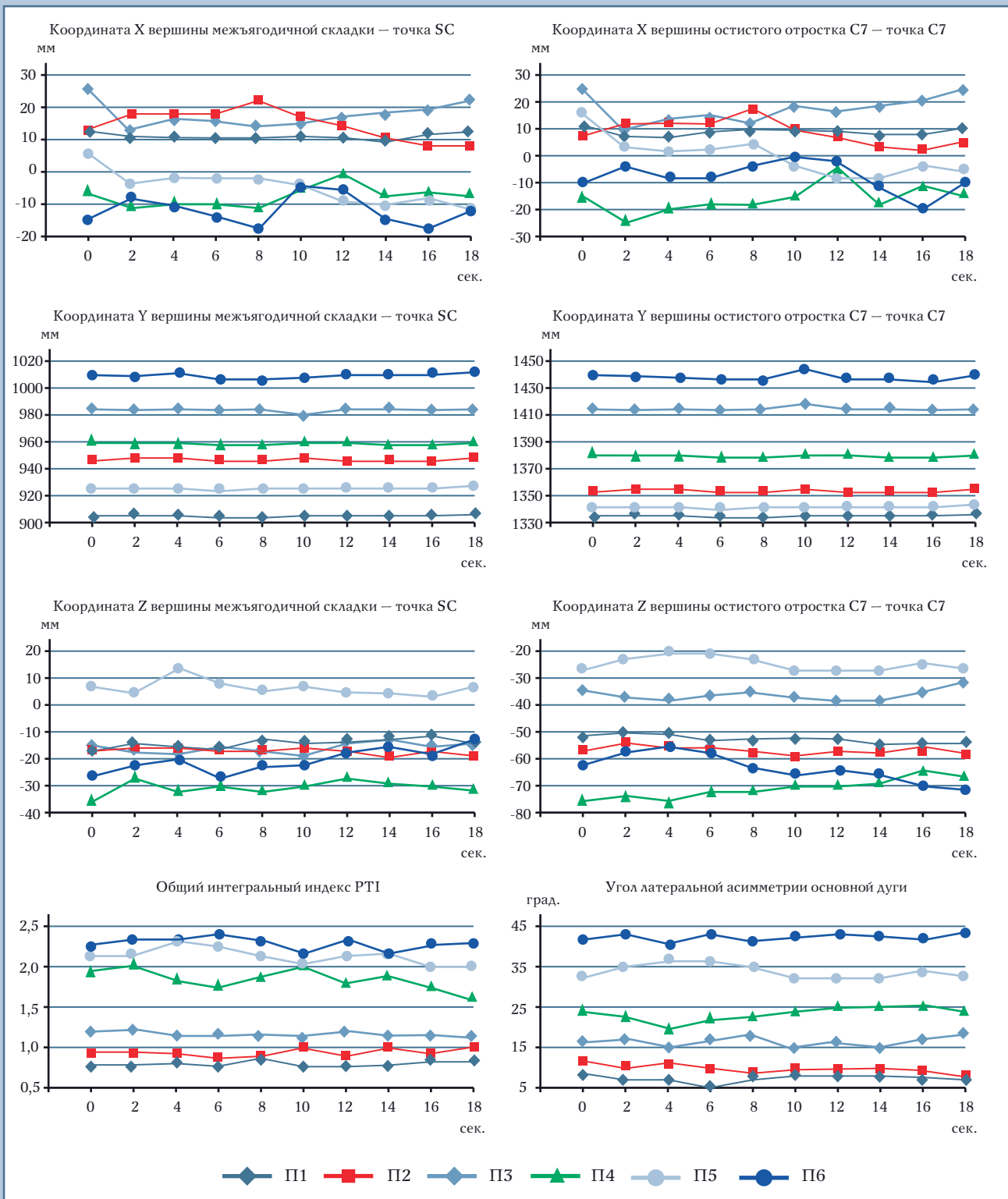


Рис. 3

Изменения положения и состояния пациентов П1–П6 в процессе съемки (10 снимков с интервалом 2 с)

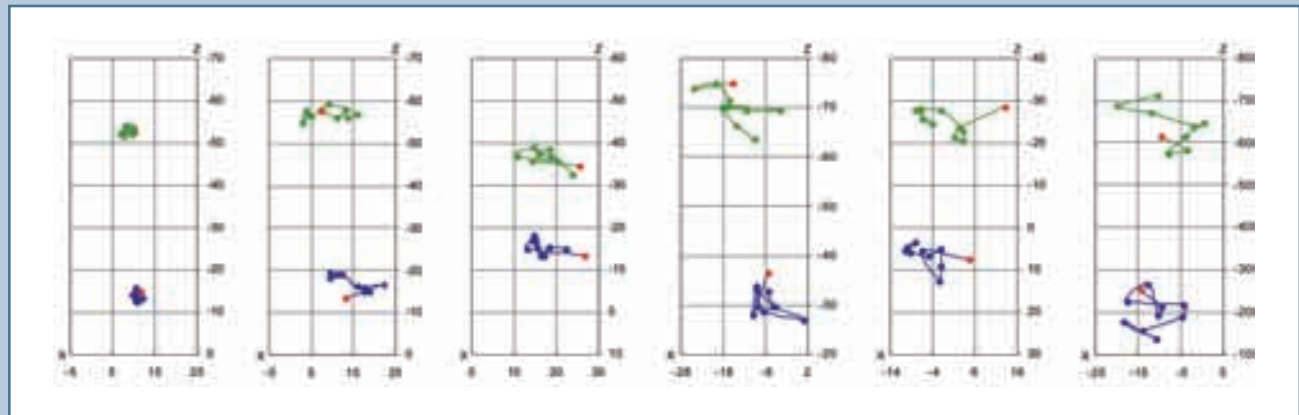


Рис. 4

Траектории движения анатомических точек SC и C7 (нижняя и верхняя кривые) в плоскости XZ для пациентов П1–П6 (слева направо) в процессе съемки (10 снимков с интервалом в 2 с); красная точка указывает начало траектории

го пациента перемещения точек SC и C7. Длина 3D-траектории соответствует общему пути в трехмерной системе координат, пройденному точками SC и C7 от снимка к снимку (за 18 с); длина 1D-траектории — проекции

общего пути на соответствующую координатную ось. Пациент П1 имеет наиболее сжатую и короткую по длине 3D-траекторию и для SC (11,4 мм) и для C7 (13,7 мм), что соответствует устойчивой позе и минимальному

разбросу топографических параметров (табл. 2). Пациент П4 имеет наиболее длинную 3D-траекторию для точки C7 (62,41 мм), а П6 — для точки SC (61,78 мм), что в пять раз больше, чем у П1, и свидетельствует о выра-

Таблица 3

Перемещение анатомических точек SC и C7, мм

Параметры	П1	П2	П3	П4	П5	П6
Длина 3D-траектории SC	11,36	29,38	38,18	52,12	41,62	61,78
Длина 3D-траектории C7	13,68	31,86	45,18	62,41	40,72	56,08
Длина 1D-траектории SC по координате X	5,64	24,76	26,36	29,12	28,31	46,79
Длина 1D-траектории C7 по координате X	10,43	22,96	36,63	54,93	32,11	49,81
Длина 1D-траектории SC по координате Y	2,10	7,12	5,96	9,27	2,80	8,47
Длина 1D-траектории C7 по координате Y	3,41	5,90	12,12	10,18	8,21	9,39
Длина 1D-траектории SC по координате Z	8,13	8,50	18,48	33,53	22,85	29,99
Длина 1D-траектории C7 по координате Z	5,25	17,72	16,85	17,35	19,18	18,99
Среднее перемещение SC между снимками по координате X	0,63	2,75	2,93	3,25	3,15	5,20
Среднее перемещение C7 между снимками по координате X	1,16	2,55	4,07	6,10	3,57	5,53
Среднее перемещение SC между снимками по координате Y	0,23	0,79	0,66	1,03	0,31	0,94
Среднее перемещение C7 между снимками по координате Y	0,38	0,66	1,35	1,13	0,91	1,04
Среднее перемещение SC между снимками по координате Z	0,90	0,94	2,05	3,73	2,54	3,33
Среднее перемещение C7 между снимками по координате Z	0,58	1,97	1,87	1,93	2,13	2,11
Максимальное перемещение SC между снимками по координате X	-2,21	-6,10	-13,76	-9,28	-11,23	13,07
Максимальное перемещение C7 между снимками по координате X	-2,62	-6,68	-14,83	-13,52	-10,66	-10,31
Максимальное перемещение SC между снимками по координате Y	0,54	1,42	1,17	-2,38	-0,86	2,87
Максимальное перемещение C7 между снимками по координате Y	-0,87	-1,11	3,92	2,18	-2,42	3,47
Максимальное перемещение SC между снимками по координате Z	1,64	-2,90	-3,47	8,64	-3,84	-7,25
Максимальное перемещение C7 между снимками по координате Z	-2,06	2,79	3,05	6,33	4,95	-3,93

женной неустойчивости позы у этих пациентов.

Сравнительный анализ длины 3D-траектории, характеризующей общий объем движений туловища пациента, а также других, приведенных в табл. 3 параметров, свидетельствует о тенденции к увеличению объема телодвижений пациентов в естественной позе с увеличением тяжести сколиоза, что согласуется с результатами обследования больных сколиозом методом стабилотрии, по которым у детей с тяжелой степенью, в отличие от легкой и умеренной степеней, выявлено достоверное увеличение девиации общего центра масс [1].

Для оценки взаимосвязи телодвижения пациентов по отдельным плоскостям рассчитаны коэффициенты корреляции координат точек SC и C7 и параметров баланса туловища в трех плоскостях: фронтальной, сагиттальной и горизонтальной (табл. 4). Анализ данных таблицы показывает, что наиболее частым для всех пациентов является однонаправленное боковое перемещение верхней и нижней частей туловища во фронтальной плоскости (коэффициент корреляции X_SC и X_C7 у всех пациентов пре-

вышает 0,7). Общими для большинства пациентов являются перемещение таза кзади и вверх или кпереди и вниз (коэффициент корреляции Y_SC и Z_SC у 5 пациентов превышает 0,6), перемещение шеи вверх и кпереди или вниз и кзади (отрицательный коэффициент корреляции Y_C7 и Z_C7 у всех пациентов), а также разнонаправленное перемещение по вертикали верхней и нижней частей туловища (отрицательный коэффициент корреляции Y_SC и Y_C7 у 5 пациентов).

Анализ данных табл. 4 показывает, что на фоне однонаправленного бокового перемещения верхней и нижней частей туловища у всех пациентов происходит боковой наклон туловища в основном за счет шеи (отрицательный коэффициент корреляции FT и X_C7) и только у П4 и П5 в боковом наклоне участвует и таз, но в меньшей мере, чем шея (отрицательный коэффициент корреляции FT и X_SC менее -0,55). Наклон туловища в сагиттальной плоскости также в большей мере связан с шеей (у всех пациентов коэффициент корреляции ST и Z_C7 больше 0,6) и в меньшей мере с тазом (коэффициент корреляции ST

и Z_SC менее -0,5 только у 4 пациентов). Сильно выраженная взаимосвязь изменений ориентации в трех плоскостях выявлена только у П6, а у П4 такая связь имеется только для фронтальной и сагиттальной плоскостей.

Проанализированные выше телодвижения пациентов в естественной позе при топографической съемке являются главным источником вариативности топографических параметров, так как эта вариативность в разы превосходит инструментальную погрешность при обследовании неподвижного манекена (табл. 2, столбец 11). Однако настолько ли драматична ситуация в топографии из-за телодвижений пациентов при съемке, как об этом пишут зарубежные коллеги [8, 9]?

Для ответа на этот вопрос достаточно проанализировать угол латеральной асимметрии LA, являющийся основным топографическим параметром, используемым для оценки тяжести структурального сколиоза. При I ст. (П1, П2) среднеквадратическое отклонение этого угла для основной дуги составило 0,56 и 0,82° (8,4 и 8,6% от его среднего значения); при II ст. (П3, П4) — 0,76 и 1,83° (4,5 и 7,9% от среднего его значения); при III ст. (П5, П6) — 1,26 и 0,80° (3,7 и 1,9% от среднего его значения). В нашем исследовании у 6 пациентов со сколиозом для 58 снимков из 60 разброс параметра LA относительно среднего не превысил $\pm 2^\circ$ (96,6% случаев). Этого, на наш взгляд, вполне достаточно для корректной оценки по топографическим данным тяжести структурального сколиоза. Об этом же свидетельствует и недавно выполненная работа с использованием одной из первых систем ТОДП, в которой выявлено совпадение по данным рентгенографии и компьютерной оптической топографии оценки степени сколиоза в 92% случаев [1].

Заключение

Метод компьютерной топографии, при условии корректной маркировки анатомических ориентиров, обеспе-

Таблица 4

Коэффициенты корреляции координат точек SC и C7 и параметров баланса туловища во фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостях

Параметры	П1	П2	П3	П4	П5	П6
X_SC – Y_SC	0,21	0,03	0,22	0,02	0,68	-0,42
X_SC – Z_SC	0,04	0,59	0,49	0,38	0,52	0,05
Y_SC – Z_SC	0,84	0,63	0,70	0,12	0,63	0,84
X_C7 – Y_C7	-0,06	0,55	-0,17	-0,05	-0,08	0,50
X_C7 – Z_C7	-0,18	-0,17	0,68	0,55	0,19	0,42
Y_C7 – Z_C7	-0,27	-0,45	-0,50	-0,02	-0,92	-0,36
X_SC – X_C7	0,71	0,96	0,92	0,92	0,95	0,73
Y_SC – Y_C7	-0,34	-0,08	-0,50	0,43	-0,68	-0,26
Z_SC – Z_C7	-0,50	-0,27	0,08	0,35	0,48	-0,75
FT – X_SC	-0,13	-0,13	0,03	-0,58	-0,55	0,10
FT – X_C7	-0,79	-0,40	-0,37	-0,86	-0,78	-0,61
ST – Z_SC	-0,90	-0,91	-0,56	-0,31	-0,12	-0,88
ST – Z_C7	0,81	0,63	0,75	0,76	0,80	0,97
FT – GT	-0,07	-0,15	0,48	-0,22	-0,10	0,77
FT – ST	0,06	0,20	-0,30	-0,58	-0,20	-0,63
ST – GT	0,22	0,18	-0,43	0,44	0,20	-0,88

чивает приемлемую точность оценки величины искривления позвоночника у пациентов со структуральным сколиозом при обследовании их в естественной позе без фиксации. Для увеличения достоверности диагностики

сколиоза рекомендуется использовать дополнительно функциональные позы [6], соответствующие различному состоянию флексии и экстензии позвоночного столба в сагиттальной

плоскости, а также выполнять несколько снимков каждой позы.

Литература

1. **Балдова С.Н.** Клинико-нейрофизиологическая характеристика идиопатического сколиоза у детей: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Н. Новгород, 2009. Baldova S.N. Kliniko-neyrofiziologicheskaya harakteristika idiopaticeskogo skolioza u detey: Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. N. Novgorod, 2009.
2. Пат. 000111 Российская Федерация. Способ компьютерной оптической топографии формы тела человека и устройство для его осуществления / Сарнадский В.Н., Садовой М.А., Фомичев Н.Г.; заявл. 26.08.1996; опубл. 27.08.1998, Бюл. № 4. Pat. 000111 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob komp'yuternoy opticheskoy topografii formy tela cheloveka i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya / Sarnadskiy V.N., Sadovoy M.A., Fomichev N.G.; zayavl. 26.08.1996; opubl. 27.08.1998, Byul. № 4.
3. **Сарнадский В.Н., Вильбергер С.Я., Шевченко А.В. и др.** Исследование точности метода компьютерной оптической топографии при восстановлении формы поверхности модели туловища человека // Хирургия позвоночника. 2006. № 2. С. 62–67. Sarnadskiy V.N., Vil'berger S.Ya., Shevchenko A.V. i dr. Issledovanie tochnosti metoda komp'yuternoy opticheskoy topografii pri vosstanovlenii formy poverhnosti modeli tulovischa cheloveka // Hirurgiya pozvonochnika. 2006. № 2. S. 62–67.
4. **Сарнадский В.Н.** Компьютерная оптическая топография. Исследование повторяемости результатов при обследовании модели туловища человека // Медицинская техника. 2007. № 4. С. 17–23. Sarnadskiy V.N. Komp'yuternaya opticheskaya topografiya. Issledovanie povtoryaemosti rezul'tatov pri obsledovanii modeli tulovischa cheloveka // Meditsinskaya tehnika. 2007. № 4. S. 17–23.
5. **Сарнадский В.Н.** Метод трехканальной цифровой комплексной фильтрации для обработки фазомодулированных изображений // Автотометрия. 1999. № 5. С. 62–84. Sarnadskiy V.N. Metod trehkanal'noy tsifrovoy kompleksnoy fil'tratsii dlya obrabotki fazomodulirovannykh izobrazheniy // Avtometriya. 1999. № 5. S. 62–84.
6. **Сарнадский В.Н., Фомичев Н.Г.** Использование функциональных поз для повышения эффективности скрининг-диагностики сколиоза методом компьютерной оптической топографии // Диагностика, профилактика и коррекция нарушений опорно-двигательного аппарата у детей и подростков: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием. М., 2002. С. 160–165. Sarnadskiy V.N., Fomichev N.G. Ispol'zovanie funktsional'nykh poz dlya povysheniya effektivnosti skринing-dagnostiki skolioza metodom komp'yuternoy opticheskoy topografii // Diagnostika, profilaktika i korrektsiya narusheniy oporno-dvigatel'nogo apparata u detey i podrostkov: Tes. dokl. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem. M., 2002. S. 160–165.
7. **Сарнадский В.Н., Фомичев Н.Г., Садовой М.А.** Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии. Новосибирск, 2001. Sarnadskiy V.N., Fomichev N.G., Sadovoy M.A. Monitoring deformatsii pozvonochnika metodom komp'yuternoy opticheskoy topografii. Novosibirsk, 2001.
8. **Schumann K., Puschel I., Maier-Hennes A.** How objective is the measurement of spinal deformity using surface topography? // Scoliosis. 2009. Vol. 4. Suppl. 1. P. 16.
9. **Weiss H.-R.** Conservative treatment effects on spinal deformities revealed by surface topography – a critical review of literature // Scoliosis. 2009. Vol. 4. Suppl. 1. P. 17.

Адрес для переписки:

Сарнадский Владимир Николаевич
630091, Новосибирск, ул. Крылова, 31,
оф. 54, ООО «МЕТОС»,
metos.org@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.05.2010