

УДК 535.8:53.088:616.711–073.756.8

В.Н. Сарнадский

(ООО «МЕТОС», Новосибирск)

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОПОГРАФИЯ.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ
МОДЕЛИ ТУЛОВИЩА ЧЕЛОВЕКА**

Введение. В Новосибирском НИИТО в 1994 году разработан метод компьютерной оптической топографии (КОМОТ) рельефа тела человека [1], и на его основе создана первая отечественная медицинская оптико-электронная топографическая система ТОДП (рис.1) для диагностики деформации позвоночника и нарушений осанки у детей и подростков. В 1996 году эта система после необходимых клинических испытаний допущена МЗ РФ к применению в медицинской практике и в настоящее время широко используется в детской ортопедии (к началу 2007 года 117 систем ТОДП работают в 53 городах России).

Система ТОДП позволяет бесконтактно определять трехмерную форму поверхности туловища пациента в ортостатическом положении 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 [2] восстанавливается цифровая модель обследуемой поверхности тела пациента в каждой точке исходного снимка. По этой модели и выделенным на ней анатомическим ориентирам костных структур рассчитываются топографические параметры для комплексной количественной оценки осанки и состояния позвоночника пациентов в трех взаимно ортогональных плоскостях (фронтальной, горизонтальной и сагиттальной). По топографическим данным также строится трехмерная модель линии центров масс тел позвонков, по которой выявляется наличие сколиотических дуг (патологического искривления позвоночника во фронтальной плоскости) и оценивается угол их кривизны, аналогичный углу по Коббу [3]. Этот угол по Коббу расчерчивается по рентгеновским снимкам позвоночника в прямой проекции и является золотым стандартом современной ортопедии.



Рис.1. Внешний вид системы ТОДП

При оценке диагностических возможностей метода КОМОТ и сопоставления его с другими аналогичными технологиями обследований прежде всего возникает вопрос о точности и достоверности получаемых данных. Наиболее исчерпывающий ответ на этот вопрос может дать эксперимент по обследованию эталонной модели туловища человека, так как это позволяет устранить фактор “изменчивости” формы и положения тела живого человека в процессе обследования. В качестве эталонной модели объекта нами был использован слепок дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени с правосторонней дугой искривления в грудном отделе позвоночника, изготовленный из стеклопластика (рис.2а). Точность восстановления формы поверхности этой модели методом КОМОТ нами была исследована путем сопоставления с данными многосрезовой компьютерной томографии [4]. Расхождение в оценке наиболее значимых для диагностики параметров формы поверхности составило не более ± 0.5 мм и $\pm 0.5^\circ$.

Эксперимент. Целью настоящей работы явилось экспериментальное исследование повторяемости основных топографических параметров, полученных при обследовании пластиковой модели туловища на серийной системе ТОДП (ООО “МЕТОС”, г.Новосибирск). На поверхности модели были наклеены пассивные светоотражающие маркеры по линии остистых отростков от седьмого шейного позвонка (С7) до вершины межъягодичной складки (9 вертикальных маркеров - светлых пятен на рис.2а) и на точки задних подвздошных остей (2 горизонтальных маркера, рис.2а). Такая маркировка применяется при стандартном топографическом обследовании пациентов в режиме мониторинга.

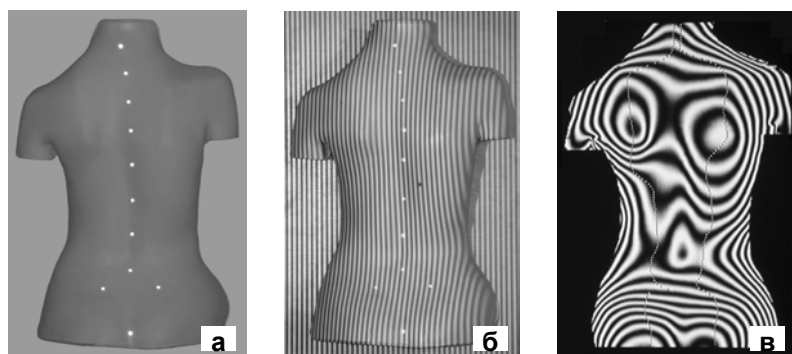


Рис.2. Модель дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени:

- а – внешний вид;
- б – исходный снимок при топографическом обследовании;
- в – топограмма восстановленной поверхности

Модель была жестко закреплена на плоскую платформу, которую можно было размещать на вертикально ориентированном экране и фиксировать, прижав к плоскости рабочей поверхности экрана. Этот экран установлен на рельсы и используется для юстировки систем ТОДП при их производстве. Рабочая поверхность экрана выставлена строго перпендикулярно оптической оси ТВ камеры и может перемещаться по рельсам вдоль оптической оси ТВ камеры. В ходе проведенного эксперимента было использовано семь положений модели в поле зрения ТВ камеры (5 - на рабочей дистанции съемки и два с изменением дистанции):

- “Нейтральное” - по центру поля зрения ТВ камеры (рис.2 и рис.3);
- “Влево” - со сдвигом влево от “Нейтрального” на 75 мм;
- “Вправо”- со сдвигом вправо от “Нейтрального” на 75 мм;
- “Вверх”- со сдвигом вверх от “Нейтрального” на 100 мм;
- “Вниз”- со сдвигом вниз от “Нейтрального” на 100 мм;
- “Вперед”- по центру поля зрения ТВ камеры и сдвигом на 250 мм от камеры;
- “Назад”- по центру поля зрения ТВ камеры и сдвигом на 250 мм к камере.

В каждом из указанных положений была произведена десятикратная съемка модели с регистрацией исходных топографических изображений (рис.2б). Снимки модели были обработаны интегрированным пакетом ТОРО V9.3 2006 в автоматическом режиме с получением топограмм восстановленной поверхности (рис.2в) и отчетных форм результатов топографического обследования (рис.3). На рис.3 включенные в анализ топографические параметры пронумерованы от 1 до 66, а в таблице 1 приведено краткое описание этих параметров. Подробное описание результатов топографических обследование пациентов можно найти в пособии для врачей [5].

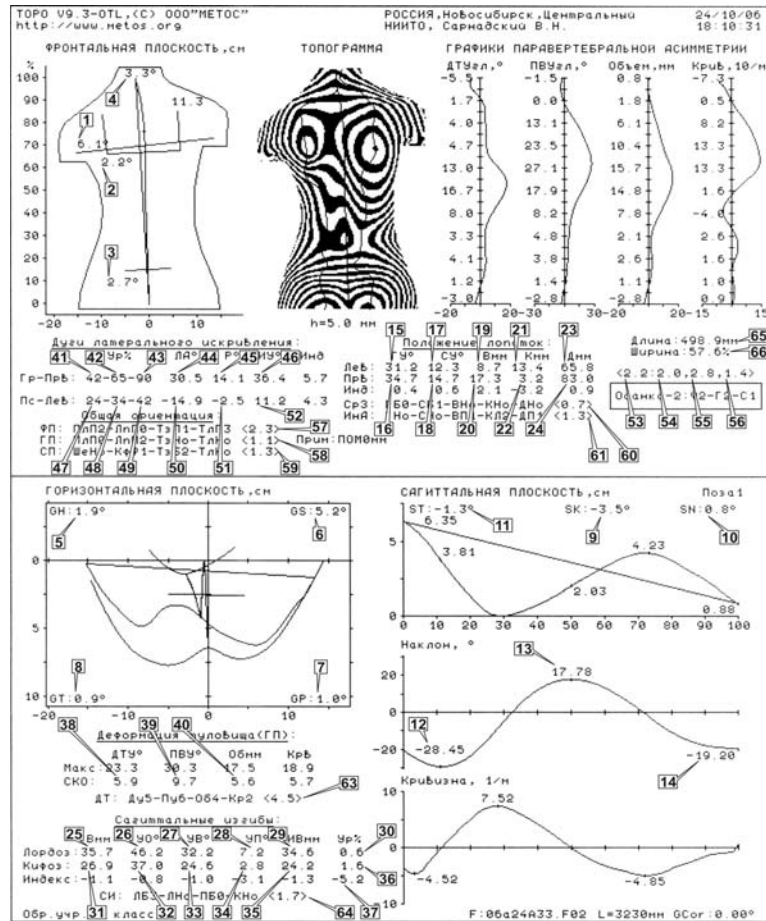


Рис.3. Твердая копия отчетной формы результатов обследования пластиковой модели

Результаты. Для каждого из семи положений модели поверхности по результатам обработки десяти снимков для анализируемых параметров были рассчитаны средние значения и среднеквадратические отклонения (СКО), приведенные в таблице 2. В столбце “Разброс” таблицы 2 задана разность между максимальной и минимальной величиной средних значений параметров, а в столбце “СКО” – усредненное по столбцам среднеквадратическое отклонение параметров. Помеченные в столбце “Параметр” символами “(м)” параметры, рассчитаны по точкам поверхности модели с наклеенными светоотражающими маркерами (светлые пятна на рис.2). Параметры, описывающие физиологические изгибы позвоночника в сагиттальной плоскости и сколиотические дуги во фронтальной плоскости, рассчитаны по трехмерной линии остистых отростков, построенной по восстановленной поверхности модели также с помощью светоотражающих маркеров. Другие (не интегральные) топографические параметры получены по точкам - анатомическим ориентирам костных структур дорсальной поверхности туловища, найденным по рельефу поверхности (верхние точки подмышечных складок, нижние углы лопаток, точки медиальных краев лопаток).

Таблица 1. Основные топографические параметры дорсальной поверхности туловища

№	Параметр	Краткое описание
Ориентация туловища: F – фронтальная плоскость, G - горизонтальная плоскость, S – сагиттальная плоскость		
1	FH, °	Угол наклона плечевого пояса (отрезка по линии подмышечных складок) относительно горизонтали
2	FS, °	Угол наклона нижних углов лопаток относительно горизонтали
3	FP, °	Угол перекоса таза (отрезка по линии задних подвздошных остей) относительно горизонтали
4	FT, °	Угол наклона туловища (по линии С7-межъягодичная складка) относительно вертикали
5	GH, °	Угол поворота плечевого пояса (отрезка по линии подмышечных складок) относительно вертикали
6	GS, °	Угол поворота нижних углов лопаток относительно вертикали
7	GP, °	Угол поворота таза (отрезка по линии задних подвздошных остей) относительно вертикали
8	GT, °	Угол скручивания туловища: поворот плечевого пояса относительно таза (GH-GP)
9	SK, °	Угол наклона кпереди-кзади вершины грудной кифоза относительно межъягодичной складки
10	SN, °	Угол наклона кпереди-кзади С7 относительно вершины поясничного лордоза
11	ST, °	Угол наклона кпереди-кзади туловища в сагиттальной плоскости
12	SA1, °	Угол наклона кпереди-кзади таза (крестца) относительно вертикали в сагиттальной плоскости
13	SA2, °	Угол наклона кпереди-кзади грудопоясничного отдела позвоночника на границе лордоз-кифоз
14	SA3, °	Угол наклона кпереди-кзади верхнегрудного отдела позвоночника на уровне С7
Положение и ориентация левой (L) и правой (R) лопаток		
15	GSL, °	Угол разворота левой лопатки в горизонтальной плоскости
16	GSR, °	Угол разворота правой лопатки в горизонтальной плоскости
17	SSL, °	Угол наклона кпереди-кзади медиального края левой лопатки в сагиттальной плоскости
18	SSR, °	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)
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, °	Описанный угол дуги поясничного лордоза
27	A2L, °	Вписанный угол дуги поясничного лордоза
28	A3L, °	Проективный угол дуги поясничного лордоза
29	HIL, 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, °	Описанный угол дуги грудного кифоза
33	A2K, °	Вписанный угол дуги грудного кифоза
34	A3K, °	Проективный угол дуги грудного кифоза
35	HIK, 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, °	Среднеквадратическое отклонение графика "ДТУгл"
39	R2S, °	Среднеквадратическое отклонение графика "ПВУгл"
40	VS, мм	Среднеквадратическое отклонение графика "Объем"
Сколиотические дуги (боковое искривление) позвоночника в грудном (Т) и поясничном (L) отделах		
41	T_L1, %	Уровень на относительной шкале нижней границы грудной дуги
42	T_L2, %	Уровень на относительной шкале вершины (апекса) грудной дуги
43	T_L3, %	Уровень на относительной шкале верхней границы грудной дуги
44	T_LA, °	Угол латеральной асимметрии грудной дуги – угол бокового искривления, аналог угла по Коббу
45	T_RA, °	Угол ротации в вершине грудной дуги относительно нижней и верхней границ дуги
46	T_IA, °	Интегральный угол грудной дуги: $(L_LA+3*L_RA)/2$
47	L_L1, %	Уровень на относительной шкале нижней границы поясничной дуги
48	L_L2, %	Уровень на относительной шкале вершины (апекса) поясничной дуги
49	L_L3, %	Уровень на относительной шкале верхней границы поясничной дуги
50	L_LA, °	Угол латеральной асимметрии поясничной дуги – угол бокового искривления, аналог угла по Коббу
51	L_RA, °	Угол ротации в вершине поясничной дуги относительно нижней и верхней границ дуги
52	L_IA, °	Интегральный угол поясничной дуги: $(L_LA+3*L_RA)/2$
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

Таблица 2. Средние значения и среднеквадратические отклонения топографических параметров

№	Параметр	Нейтральное	Влево	Вправо	Вверх	Вниз	Вперед	Назад	Разброс	СКО
Ориентация туловища: F – фронтальная плоскость, G – горизонтальная плоскость, S – сагиттальная плоскость										
1	FH. °	6.06±0.07	6.81±0.09	6.40±0.20 **	6.78±0.16	6.70±0.19	6.08±0.13	6.59±0.23 **	0.75	0.15
2	FS. °	2.00±0.36	1.58±0.46	1.42±0.37	1.79±0.35	1.64±0.41	1.85±0.51	1.87±0.39	0.58	0.41
3	FP. ° (M)	2.65±0.09	2.43±0.08	2.49±0.03 *	2.48±0.02	2.66±0.07 **	2.58±0.03	2.46±0.03 **	0.23	0.05
4	FT. ° (M)	3.33±0.01	3.16±0.04	3.27±0.03 **	3.19±0.02	3.28±0.02 **	3.34±0.08	3.19±0.04 **	0.18	0.03
5	GH. °	1.92±0.25	2.14±0.18	2.00±0.27	2.13±0.35	2.13±0.21	2.05±0.15	2.46±0.24 **	0.54	0.24
6	GS. °	5.12±0.10	5.04±0.08	5.03±0.08	5.11±0.07	5.45±0.10 **	5.14±0.19	5.13±0.10	0.42	0.10
7	GP. ° (M)	1.20±0.13	1.41±0.12	1.38±0.07	1.43±0.13	1.30±0.09 *	1.46±0.09	1.37±0.08 *	0.26	0.10
8	GT. °	0.88±0.32	1.33±0.35	0.61±0.46 **	1.21±0.33	1.12±0.29	0.67±0.23	1.30±0.24 **	0.72	0.32
9	SK. °	-3.48±0.02	-3.66±0.06	-3.66±0.04	-3.40±0.02	-3.43±0.02 **	-3.55±0.03	-3.51±0.03 **	0.26	0.03
10	SN. °	0.84±0.03	0.59±0.04	0.63±0.05 *	0.87±0.05	0.87±0.05	0.62±0.09	0.80±0.04 **	0.28	0.05
11	ST. °	-1.32±0.02	-1.53±0.03	-1.49±0.02 **	-1.26±0.03	-1.28±0.03	-1.46±0.05	-1.36±0.03 **	0.27	0.03
12	SA1. °	-28.43±0.06	-28.72±0.16	-28.67±0.07	-28.81±0.12	-28.80±0.06	-28.78±0.05	-28.32±0.13 **	0.49	0.09
13	SA2. °	17.92±0.07	17.85±0.10	17.99±0.06 **	18.18±0.06	18.26±0.05 **	18.03±0.07	17.91±0.08 **	0.41	0.07
14	SA3. °	-18.62±0.35	-19.26±0.34	-19.11±0.42	-18.62±0.35	-18.74±0.59	-19.02±0.64	-18.35±0.32 **	0.91	0.43
Положение и ориентация левой (L) и правой (R) лопаток										
15	GSL. °	30.69±0.18	30.14±0.21	30.58±0.25 **	30.20±0.24	30.19±0.22	30.23±0.19	30.68±0.25 **	0.55	0.22
16	GSR. °	34.82±0.29	35.28±0.45	35.49±0.55	35.11±0.58	34.42±0.44 **	35.34±0.37	35.13±0.46	1.07	0.45
17	SSL. °	12.57±0.23	12.89±0.57	12.43±0.29 *	13.09±0.64	12.31±0.30 **	12.50±0.49	13.05±0.56 *	0.78	0.44
18	SSR. °	14.61±0.14	14.54±0.15	14.41±0.13 *	14.57±0.21	14.51±0.12	14.75±0.22	14.34±0.13 **	0.41	0.16
19	H1SL. мм	8.90±0.28	9.36±0.31	8.61±0.56 **	9.15±0.36	8.75±0.47 *	8.92±0.36	9.45±0.25	0.84	0.37
20	H1SR. мм	16.8±0.35	15.61±0.43	16.52±0.73 **	15.44±0.66	16.66±0.71 **	16.73±0.38	16.02±0.39 **	1.36	0.52
21	H2SL. мм	13.44±0.13	13.23±0.21	13.04±0.17 *	13.14±0.15	13.02±0.19	13.01±0.22	13.30±0.23 **	0.43	0.19
22	H2SR. мм	2.78±0.31	2.67±0.29	2.08±0.30 **	2.72±0.32	2.92±0.34	2.34±0.40	2.81±0.26 **	0.84	0.32
23	DSL. мм	65.60±0.27	65.91±0.34	65.77±0.26	66.18±0.28	65.94±0.30	66.02±0.24	65.68±0.21 **	0.58	0.27
24	DSR. мм	83.47±0.49	84.15±0.53	84.65±0.40 *	83.57±0.43	83.04±0.52 **	84.47±0.49	84.09±0.37 **	1.61	0.46
Физиологические изгибы позвоночника в сагиттальной плоскости: поясничный лордоз (L) и грудной кифоз (K)										
25	HL. мм	35.4±0.20	36.0±0.30	36.1±0.30	36.1±0.30	36.2±0.30	36.0±0.40	35.7±0.30 *	0.80	0.30
26	AIL. °	46.33±0.09	46.57±0.17	46.75±0.19 *	46.99±0.15	47.26±0.14 **	46.85±0.18	46.23±0.19 **	1.03	0.16
27	A2L. °	32.11±0.09	32.33±0.11	32.43±0.14	32.67±0.12	32.83±0.10 **	32.57±0.11	32.01±0.13 **	0.82	0.11
28	A3L. °	7.16±0.02	7.14±0.06	7.18±0.05	7.19±0.03	7.21±0.05	7.14±0.06	7.12±0.03 **	0.09	0.04
29	H1L. мм	34.6±0.10	34.7±0.20	34.8±0.20	34.9±0.20	35.0±0.20	34.8±0.20	34.5±0.16 **	0.50	0.18
30	DAL. %	0.34±0.13	0.11±0.15	0.20±0.17	-0.11±0.15	0.13±0.27 **	0.01±0.25	0.39±0.19 **	0.50	0.19
31	HK. мм	27.00±0.10	27.20±0.18	27.33±0.20	27.30±0.10	27.39±0.20	27.70±0.25	26.90±0.23 **	0.80	0.18
32	A1K. °	36.52±0.31	38.11±0.43	37.08±0.39 **	37.62±0.60	37.19±0.60	38.42±0.51	36.86±0.43 **	1.90	0.47
33	A2K. °	24.62±0.05	24.77±0.14	24.78±0.09	24.88±0.08	24.82±0.13	25.01±0.14	24.44±0.12 **	0.57	0.11
34	A3K. °	2.83±0.01	2.89±0.03	2.88±0.03	2.91±0.02	2.90±0.03	2.98±0.04	2.81±0.03 **	0.17	0.03
35	HIK. мм	24.20±0.10	24.6±0.20	24.40±0.10 *	24.60±0.10	24.50±0.20	24.80±0.30	24.00±0.20 **	0.80	0.17
36	DAK. %	1.65±0.14	1.86±0.25	1.57±0.25 *	1.77±0.30	1.43±0.26	1.65±0.14	1.74±0.23	0.43	0.22
37	IDLK. %	-4.89±0.17	-5.02±0.23	-4.92±0.18	-4.79±0.25	-4.75±0.23	-4.73±0.27	-5.19±0.21 **	0.46	0.22
Ротационная деформация туловища в горизонтальной плоскости										
38	R1S. °	5.98±0.06	6.03±0.09	5.87±0.05 **	5.92±0.07	5.97±0.09	5.97±0.08	5.87±0.08 **	0.16	0.07
39	R2S. °	9.67±0.02	9.86±0.06	9.66±0.01 **	9.75±0.04	9.86±0.03 **	9.80±0.04	9.69±0.03 **	0.20	0.03
40	VS. мм	5.56±0.02	5.61±0.03	5.57±0.02 **	5.53±0.03	5.52±0.02	5.59±0.03	5.51±0.03 **	0.10	0.03
Сколиотические дуги (боковое искривление) позвоночника в грудном (Т) и поясничном (L) отделах										
41	T L1. %	42.49±1.64	43.74±1.20	41.62±1.29 **	44.33±0.18	44.46±0.39	42.03±1.42	43.06±1.23	2.84	1.05
42	T L2. %	64.09±0.66	63.52±0.77	63.77±0.76	64.23±0.26	64.14±0.65	63.45±0.72	64.40±0.59 **	0.95	0.63
43	T L3. %	87.62±1.46	84.91±0.67	87.15±2.20 **	85.61±0.56	85.43±0.93	86.95±2.22	87.92±1.96	3.01	1.43
44	T LA. °	30.25±0.48	29.96±0.48	31.15±0.34 **	30.70±0.24	32.08±0.36 **	30.94±0.33	30.85±0.33	2.12	0.37
45	T RA. °	13.18±1.02	12.16±0.76	13.35±0.92 **	11.62±0.13	11.53±0.22	13.59±1.04	12.92±1.02	2.06	0.73
46	T IA. °	34.90±0.91	33.21±1.08	35.60±0.78 **	32.78±0.23	33.34±0.43 **	35.85±0.43	34.80±0.83 **	3.07	0.67
47	L L1. %	23.28±1.57	22.26±1.21	24.54±1.62 **	21.34±0.76	20.97±0.83	23.45±1.43	23.47±1.16	3.57	1.23
48	L L2. %	34.39±0.42	34.50±0.59	34.58±0.37	34.33±0.38	34.21±0.29	34.24±0.11	34.76±0.44 **	0.55	0.37
49	L L3. %	42.49±1.64	43.74±1.20	41.62±1.29 **	44.33±0.18	44.46±0.39	42.03±1.42	43.06±1.23	2.84	1.05
50	L LA. °	-15.11±1.28	-15.56±0.74	-14.53±1.03 *	-16.30±0.65	-16.24±0.77	-14.35±0.66	-15.81±1.09 **	1.95	0.89
51	L RA. °	-2.74±0.84	-3.34±0.50	-2.86±0.67	-3.50±0.34	-3.64±0.28	-2.67±0.61	-2.89±1.55	0.97	0.68
52	L IA. °	11.66±1.38	12.78±1.03	11.56±1.43	13.39±0.82	13.58±0.79	11.18±1.34	12.24±1.54	2.40	1.19
Интегральные индексы нарушений формы дорсальной поверхности туловища										
53	PTI	2.19±0.01	2.20±0.02	2.16±0.01 **	2.18±0.02	2.19±0.01	2.18±0.01	2.16±0.02 *	0.04	0.01
54	PTI-F	2.02±0.01	2.00±0.02	2.02±0.02 *	2.00±0.02	2.04±0.02 **	2.04±0.02	1.99±0.01 **	0.05	0.02
55	PTI-G	2.80±0.02	2.91±0.03	2.79±0.02 **	2.88±0.05	2.86±0.02	2.84±0.03	2.83±0.04	0.12	0.03
56	PTI-S	1.40±0.01	1.42±0.02	1.43±0.02	1.43±0.02	1.42±0.01	1.42±0.02	1.41±0.02	0.03	0.02
57	PTI-OF	2.28±0.01	2.26±0.03	2.18±0.03 **	2.32±0.02	2.38±0.04 **	2.27±0.04	2.26±0.04	0.20	0.03
58	PTI-OG	1.13±0.04	1.27±0.03	1.13±0.04 **	1.28±0.08	1.22±0.05 *	1.16±0.04	1.22±0.04 **	0.15	0.05
59	PTI-OS	1.31±0.01	1.36±0.02	1.36±0.01	1.33±0.01	1.33±0.01	1.35±0.01	1.30±0.01 **	0.06	0.01
60	PTI-SV	0.69±0.01	0.71±0.02	0.71±0.02	0.75±0.08	0.64±0.02 **	0.72±0.03	0.68±0.04 *	0.11	0.03
61	PTI-SA	1.33±0.04	1.26±0.04	1.41±0.05 **	1.24±0.06	1.32±0.05 **	1.36±0.07	1.29±0.03 **	0.17	0.05
62	PTI-DF	2.09±0.01	2.10±0.03	2.16±0.03 **	2.05±0.02	2.06±0.01	2.16±0.02	2.08±0.02 **	0.11	0.02
63	PTI-DG	4.46±0.03	4.56±0.04	4.46±0.02	4.47±0.04	4.50±0.03	4.53±0.03	4.44±0.05 **	0.12	0.03
64	PTI-DS	1.68±0.01	1.69±0.03	1.71±0.03	1.71±0.02	1.73±0.03	1.68±0.04	1.70±0.02	0.05	0.03
Продольно-поперечные размеры туловища										
65	Lng.мм (M)	498.8±0.10	498.7±0.11	499.0±0.10 **	499.0±0.10	498.9±0.10 *	498.7±0.10	499.7±0.13 **	1.00	0.10
66	RWL.%	57.88±0.25	56.61±0.20	57.91±0.63 **	56.49±0.54	56.24±0.46	57.72±0.36	57.32±0.27 **	1.67	0.39

Примечание: 1.(M) – параметры, рассчитанные с использованием светоотражающих маркеров.

2. * - P <0.05, ** - P<0.01 для левого и правого столбцов, соответствующих парным положениям модели (Влево – Вправо, и т.д.).

Звездочками в таблице 2 помечены параметры, у которых найдены статистически значимые различия для двух парных положений модели (для пар столбцов 4 и 5, 6 и 7, 8 и 9).

Как видно из таблицы 2, повторяемость помеченных “(м)” параметров ориентации существенно лучше, что не явилось для нас неожиданностью, так как точность определения местоположения точек - анатомических ориентиров по рельефу в значительной степени зависит от характера рельефа и, прежде всего, от локальной кривизны поверхности. Наглядной иллюстрацией этого могут служить приведенные в таблице 2 параметры положения и ориентации лопаток. Все параметры для левой лопатки по сравнению с правой (кроме углов в сагиттальной плоскости - параметры 17 и 18, зависящие также от положения точек медиальных краев лопаток) имеют лучшую повторяемость и меньший разброс. Это связано с тем, что из-за реберного горба справа нижний угол левой лопатки имеет более острую вершину с большей кривизной поверхности, чем у правой лопатки, как это видно по топограмме на рис.2в и на графике для горизонтальной плоскости на рис.3. Точность же выделения координат светоотражающих маркеров зависит лишь от их контраста по отношению к полосам и при хорошем контрасте (таком, как показано на рис.2б) составляет 0.1 мм, о чем свидетельствует СКО параметра 65 (длины туловища “Lng”). Значение этого параметра определяется как 3D расстояние между двумя точками на поверхности модели, помеченными светоотражающими маркерами (верхний и нижний маркер на рис.2). Однако следует иметь в виду, что при маркировке светоотражающими маркерами появляется субъективный фактор, а также, даже при тщательной маркировке, существует возможность смещения светоотражающих маркеров вместе с кожей относительно костных структур при изменении позы пациента.

Для оценки влияния перемещений модели в поле зрения ТВ-камеры на повторяемость топографических параметров была исследована статистическая значимость изменений параметров для 3-х пар положений модели. При этом установлено, что сильнее всего сказывается перемещение “Вперед-Назад”, при котором у 73% параметров отмечены статистически значимые изменения, далее следует перемещение “Влево-Вправо” – 55%, а лучше всего “Вверх-Вниз” - только 35%. Следует подчеркнуть, что при съемке пациентов на системе ТОДП первые два фактора не критичны, так как пациенты легко размещаются с помощью установочного места в поле зрения ТВ камеры с точностью ± 5 мм, как вдоль ее оптической оси, так и поперек (при этом установочное место выставляется с помощью тест-объекта относительно ТВ-камеры и проектора с точностью ± 1 мм и $\pm 0.25^\circ$). Для размещения пациента в центре поля зрения ТВ-камеры по вертикали используются специальные подставки.

Анализ полученных данных также позволяет предположить, что помимо временного шума при топографической съемке (действие которого мы видим при неподвижном положении модели) на результаты обработки снимков оказывает влияние взаимное расположение системы спроецированных полос и локальных деталей рельефа поверхности (например, подмышечных складок), а также положение светоотражающих маркеров относительно полос.

Заключение. Проведено исследование повторяемости основных топографических параметров при обследовании пластиковой модели туловища для семи ее положений в поле зрения ТВ камеры на серийной системе ТОДП. Установлено, что разное положение модели в поле зрения камеры влияет на повторяемость топографических данных, и максимальный разброс данных наблюдается при изменении дистанции съемки. Разные топографические параметры имеют разную повторяемость. Наименьший разброс обеспечивает маркировка светоотражающими маркерами (привносящая при этом субъективный фактор). Повторяемость параметров, рассчитанных по точкам, координаты которых выделяются по рельефу поверхности, существенным образом зависит от выраженности рельефа (например, торчат или сглажены углы лопаток).

Полученные в работе данные при обследовании пластиковой модели - “идеального” и неподвижного пациента показывают, что метод КОМОТ на серийной системе ТОДП обеспечивает оценку в пределах:

- ± 0.5 мм - длины туловища;
- $\pm 0.5^\circ$ - большинства углов ориентации туловища и его сегментов;
- ± 0.4 мм - высоты поясничного лордоза и грудного кифоза;
- $\pm 0.5\%$ - локализации вершины дуг лордоза и кифоза;
- $\pm 1.0^\circ$ - углов сколиотической дуги, аналога угла по Коббу;
- $\pm 0.5\%$ - локализации вершины сколиотической дуги;
- ± 0.08 - интегральных индексов формы дорсальной поверхности.

Влияние телодвижений живых пациентов при съемке на повторяемость топографических результатов требует отдельного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сарнадский В.Н., Садовой М.А., Фомичев Н.Г.** Способ компьютерной оптической топографии тела человека и устройство для его осуществления. Евразийский патент №000111. 1998 .
2. **Сарнадский В.Н.** Метод трехканальной цифровой комплексной фильтрации для обработки фазомодулированных изображений //Автометрия. -1999. -N5. -С.62-84.
3. **Cobb J.R.** Outline for the study of scoliosis. Instructional Course Lectures.V5. Edited by J.W.Edwards. Ann Arbor. Amer. Acad. of Orthopedic Surg. 1948. –P.261-275.

4. **Сарнадский В.Н., Вильбергер С.Я., Шевченко А.В.** Исследование точности восстановления поверхности модели туловища человека методом компьютерной топографии //Автометрия. 2006. 42. № 4. -С.82-90.
5. **Сарнадский В.Н., Фомичев Н.Г.** Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии. –Пособие для врачей МЗ РФ. –Новосибирск: НИИТО. 2001. -44с.