УДК 535.8:53.088:616.711–073.756.8

В.Н. Сарнадский, С.Я. Вильбергер, А.В. Шевченко

(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ 3D ПОВЕРХНОСТИ МОДЕЛИ ТУЛОВИЩА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОПОГРАФИИ

Рассматриваются результаты исследования точности восстановления 3D поверхности модели туловища человека методом компьютерной оптической топографии в сравнении с методом многосрезовой компьютерной томографии. Расхождение в оценке наиболее значимых для медицинской диагностики клинических параметров, полученное по восстановленной двумя методами 3D поверхности, составило не более ±0.5 мм и ±0.5º.

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 (99 установок ТОДП работают в 40 городах России, Украины и Казахстана).

Система ТОДП позволяет дистанционно и бесконтактно определять форму поверхности туловища пациента. Принцип ее действия 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 методом трехканальной комплексной фильтрации производится демодуляция фазы [2] и восстанавливается цифровая модель обследуемой поверхности тела пациента в каждой точке исходного снимка. По этой модели и выделенным на ней анатомическим ориентирам костных структур производится комплексная количественная оценка осанки и состояния позвоночника пациентов в трех взаимно ортогональных плоскостях (фронтальной, горизонтальной и сагиттальной). На основе топографических данных восстанавливается трехмерная модель линии центров масс тел позвонков, по ней выявляется наличие сколиотических дуг (патологических дуг искривления во фронтальной плоскости в отличие от физиологических дуг в сагиттальной плоскости) и оценивается угол их кривизны, аналогичный углу по Коббу, расчерчиваемому по рентгеновским снимкам позвоночника в прямой проекции [3]. В ранее проведенных исследованиях по сопоставлению топографических и рентгенологических данных

была доказана достаточная точность и высокая достоверность топографической оценки сколиотических дуг [4-6].

Рис.1. Внешний вид установки ТОДП

Появившийся и ставший доступным в последние годы метод многосрезовой компьютерной томографии (МСКТ), обладающий уникальными возможностями восстановления внешней формы и внутренней структуры трехмерных объектов, позволил нам использовать этот метод как средство верификации точности восстановления формы внешней поверхности туловища пациентов методом КОМОТ.

Постановка задачи. Целью работы явилось экспериментальное исследование точности восстановления рельефа поверхности туловища человека методом КОМОТ путем сопоставления результатов обследования эталонной поверхности в сравнении с методом МСКТ. В качестве эталонной поверхности была использована модель дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени с правосторонней дугой искривления в грудном отделе позвоночника. Модель была изготовлена из стеклопластика толщиной 3 мм и жестко закреплена на рентгенопрозрачной плоской плите (рис.2а). На поверхности модели были наклеены пассивные светоотражающие маркеры, с помощью которых размечаются на коже пациентов анатомические точки–проекции костных структур при стандартном обследовании пациентов на установке ТОДП. При обработке снимков пациентов эти маркеры автоматически выделяются и их координаты определяются с точностью ±0.1 мм. В настоящем исследовании светоотражающие маркеры были использованы как реперные точки для привязки данных двух сопоставляемых методов обследования.

Для восстановления поверхности эталонной модели методом КОМОТ была использована серийная установка ТОДП (ООО “МЕТОС”, г.Новосибирск). На рабочей дистанции съемки эталонная модель была размещена на вертикально установленном экране, рабочая поверхность которого была выставлена строго перпендикулярно оптической оси ТВ камеры. Оптическая ось

ТВ камеры в свою очередь выставляется строго горизонтально при юстировке оптической схемы ТОДП. При размещении плиты с эталонной моделью на экране край плиты был выставлен в вертикальное положение. После этого в соответствии со стандартной технологией обследования на установке ТОДП была произведена съемка эталонной модели с получением исходного топографического изображения, как показано на рис.2б. После обработки снимка с использованием программного обеспечения ТОДП (интегральный пакет TOPO V9.1 2005) были получены стандартные топографические результаты, в том числе построены топограмма восстановленной поверхности (рис.2в) и выходные формы топографического обследования эталонной модели (рис.3) [5].

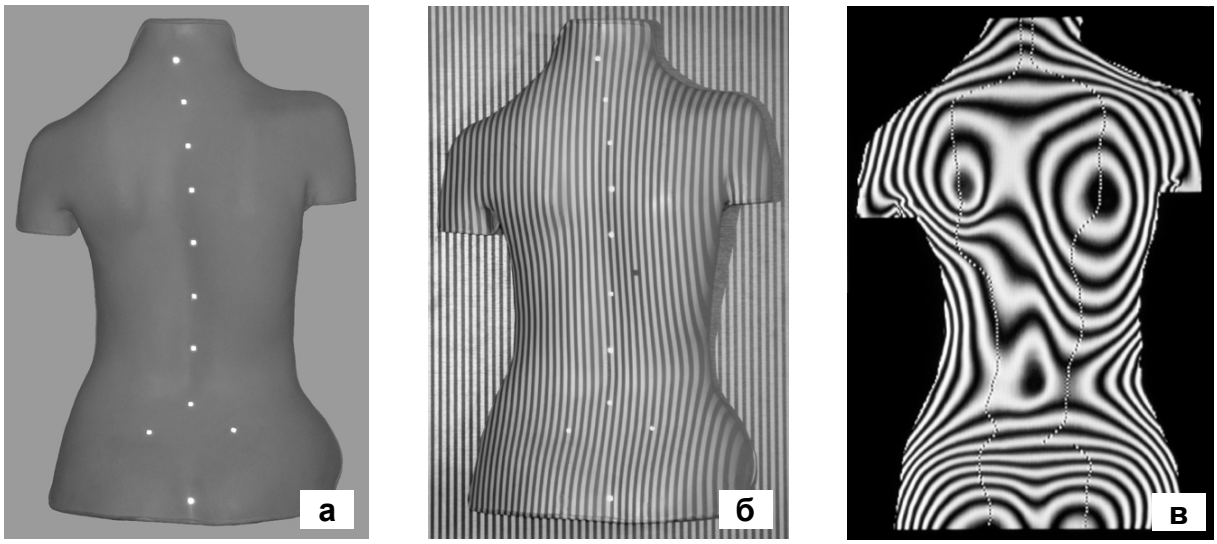


Рис. 2. Пластиковая модель дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени:

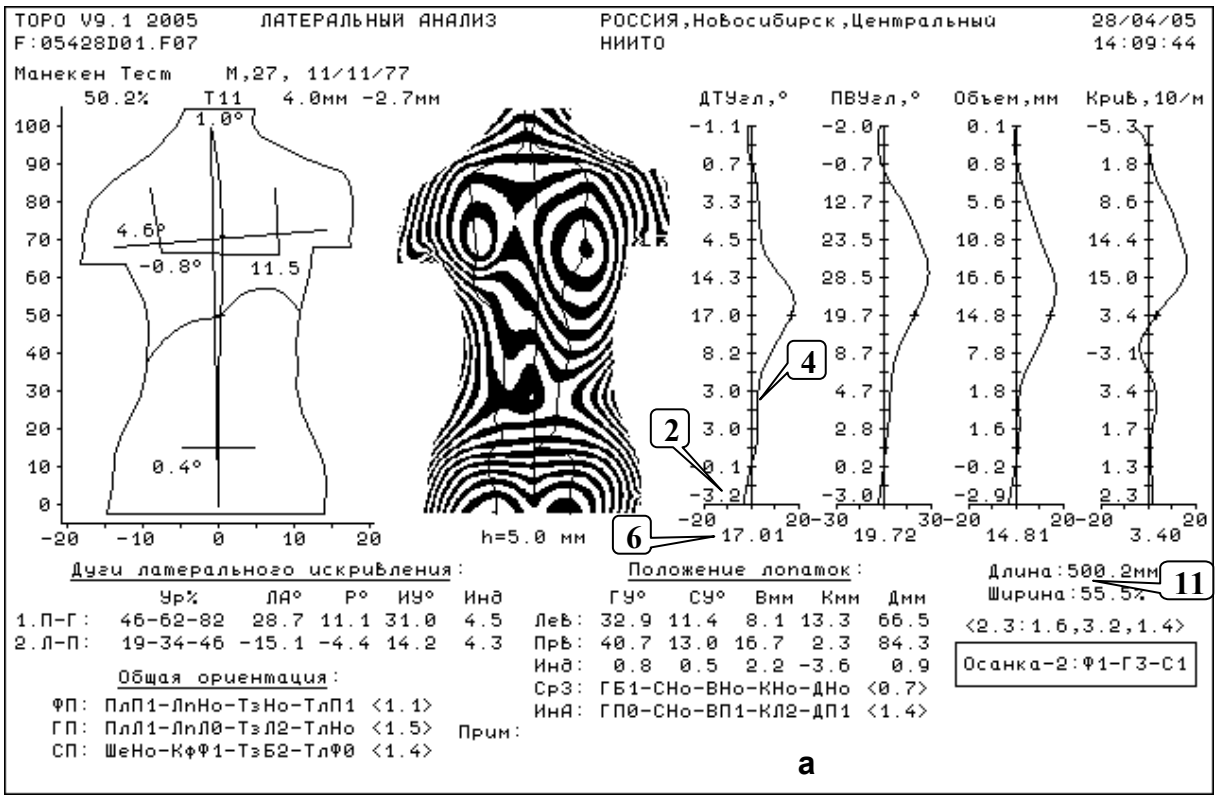
а – внешний вид;

б – исходный снимок при топографическом обследовании;

в – топограмма восстановленной поверхности

На выходной форме латерального анализа (рис.3а) выведены графические представления восстановленной поверхности, включающие фронтальную проекцию (приведенную в левой части рисунка), топограмму (по центру рисунка) и четыре графика (в правой части рисунка), описывающих осевую ротацию и асимметрию формы в горизонтальной плоскости. На фронтальной проекции, построенной для обследуемой модели, помимо внешнего контура туловища выводятся графические элементы, описывающие основные анатомические ориентиры дорсальной поверхности в том числе: вертикально ориентированный отрезок, соединяющий вершину межьягодичной складки (самый нижний светоотражающий маркер на рис.2) с точкой проекции на поверхность остистого отростка седьмого шейного позвонка С7 (самый верхний светоотражающий маркер на рис.2); линия-проекция вершин остистых отростков позвоночного столба (на рис.3а проходящая слева от ранее рассмотренного отрезка);

горизонтально ориентированные отрезки при рассмотрении снизу вверх, задающие ориентацию соответственно: таза, нижних углов лопаток и плечевого пояса.



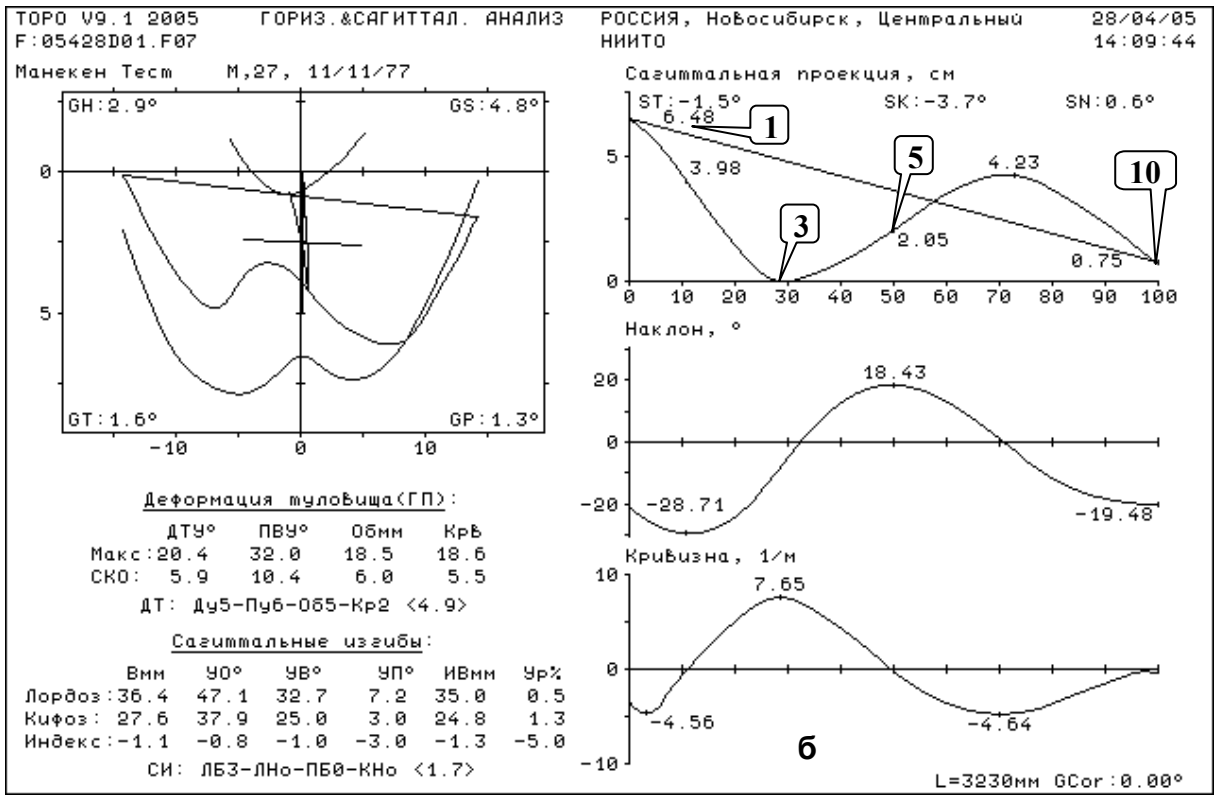


Рис. 3. Результаты топографического обследования модели туловища:
а – выходная форма латерального анализа;
б – выходная форма сагиттально-горизонтального анализа

Слева от фронтальной проекции приведена процентная шкала, 0% которой соответствует вершине межъягодичной складки и 100% – уровню проекции остистого отростка шейного позвонка С7. На выходной форме горизонтально-сагиттального анализа (рис.3б) выводится горизонтальная проекция обследуемой поверхности (приведенная в левой части рисунка), и соответствующая виду на поверхность сверху, а также сагиттальная проекция линии вершин остистых отростков позвоночника, (приведенная на рис.3б справа сверху) и соответствующая виду на эту линию сбоку. Для сагиттальной проекции также, как для фронтальной используется процентная шкала, расположенная по оси абсцисс.

Пластиковая модель поверхности туловища была обследована также на спиральном томографе Siemens Somatom Sensation 4 в ФГУ “Новосибирский НИИ ПК им. акад. Е.Н. Мешалкина ФАЗСР”. Обследование проводилось по протоколу ThoraxCombi в спиральном режиме сканирования, толщиной среза 3 мм, перекрытием 1,5 мм. При обследовании на МСКТ модель была помещена на подвижный стол томографа с ориентацией бокового края плиты с моделью параллельно краю стола и, следовательно, вдоль направления линейного перемещения стола. Обзорный МСКТ снимок модели туловища после сканирования приведен на рис.4.

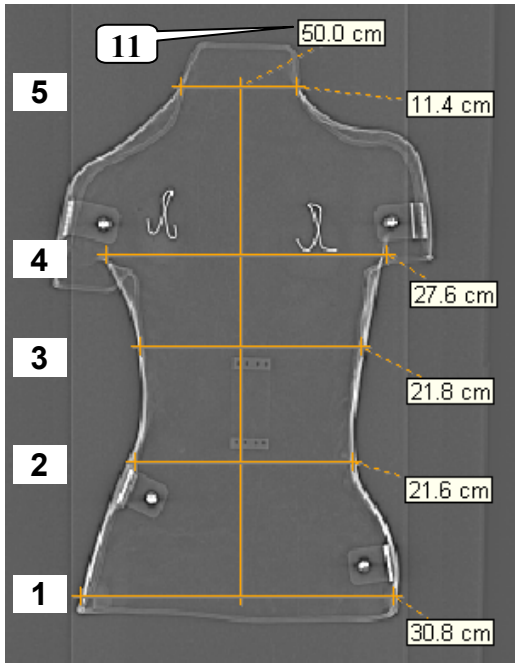


Рис.4. Обзорный МСКТ снимок модели туловища:

1 – уровень вершины межьягодичной складки (по центру нижнего маркера, 0% шкалы);

2 – уровень вершины поясничного лордоза (28.3% шкалы);

3 – уровень точки перегиба на границе поясничный лордоз – грудной кифоз (50% шкалы);

4 – уровень нижних углов лопаток (69% шкалы);

5 – уровень проекции остистого отростка шейного позвонка С7 (по центру верхнего маркера,100% шкалы)

По результатам сканирования были выполнены VRT и SSD трехмерные реконструкции и получены 386 изображений аксиальных сечений модели.

Результаты. Задачей настоящего исследования было оценить точность и достоверность топографических данных с точки зрения наиболее важных для медицинской диагностики показателей и, прежде всего, осевой ротации туловища и выраженности физиологических изгибов позвоночника в сагиттальной плоскости. Поэтому для поверхности восстановленной с помощью МСКТ была осуществлена привязка к процентной шкале, используемой для представления топографических данных. Начало шкалы - сечение 1 (рис.4) выбрано на вершине межьягодичной складки модели, а конец шкалы - сечение 5 (рис.4) задано в точке, соответствующей проекции остистого отростка шейного позвонка С7. Указанные сечения были найдены при анализе МСКТ профилей по положению соответствующих светоотражающих маркеров благодаря их рентгеноконтрастности. Для анализа также были выбраны три внутренних сечения: 2, 3 и 4 (рис.4). Сечение 2 соответствует точке максимального углубления сагиттальной проекции в поясничном отделе позвоночника, то есть – вершине поясничного лордоза. Сечение 3 соответствует точке перегиба сагиттальной проекции на границе поясничного лордоза и грудного кифоза. Сечение 4 соответствует уровню нижних углов лопаток. Получены сечения 1-5 были интерактивно расчерчены с целью определения показателей сопоставимых с аналогичными топографическими. Указанные сечения с полученными значениями анализируемых параметров приведены на рис.5a-5e соответственно. Высота профилей горизонтальных сечений задана на рис.5 относительно начала оси ординат отображаемой справа шкалы. На рис.5 помимо изображений профилей горизонтальных сечений модели отчетливо видно сечение плоской плиты. Для анализа томографических данных было использовано программное обеспечение eFilm Lite Version 1.9.4, позволяющее измерять угловые и линейные размеры интерактивно, задавая координаты измеряемых точек с помощью манипулятора мышь на основе визуальной оценки граничных точек. При этом точность количественных оценок ограничивается значениями ±0.5мм и ±0.5º. Однако такая точность вполне приемлема для задачи сопоставления с топографическими данными.

Значения сопоставляемых параметров, полученные по поверхности модели туловища, восстановленной двумя методами обследования приведены в таблице. Анализируемые параметры обозначены номерными ссылками в соответствии с таблицей, показанными на рис.3 для данных по методу КОМОТ и на рис.4, рис.5 для данных по методу МСКТ.

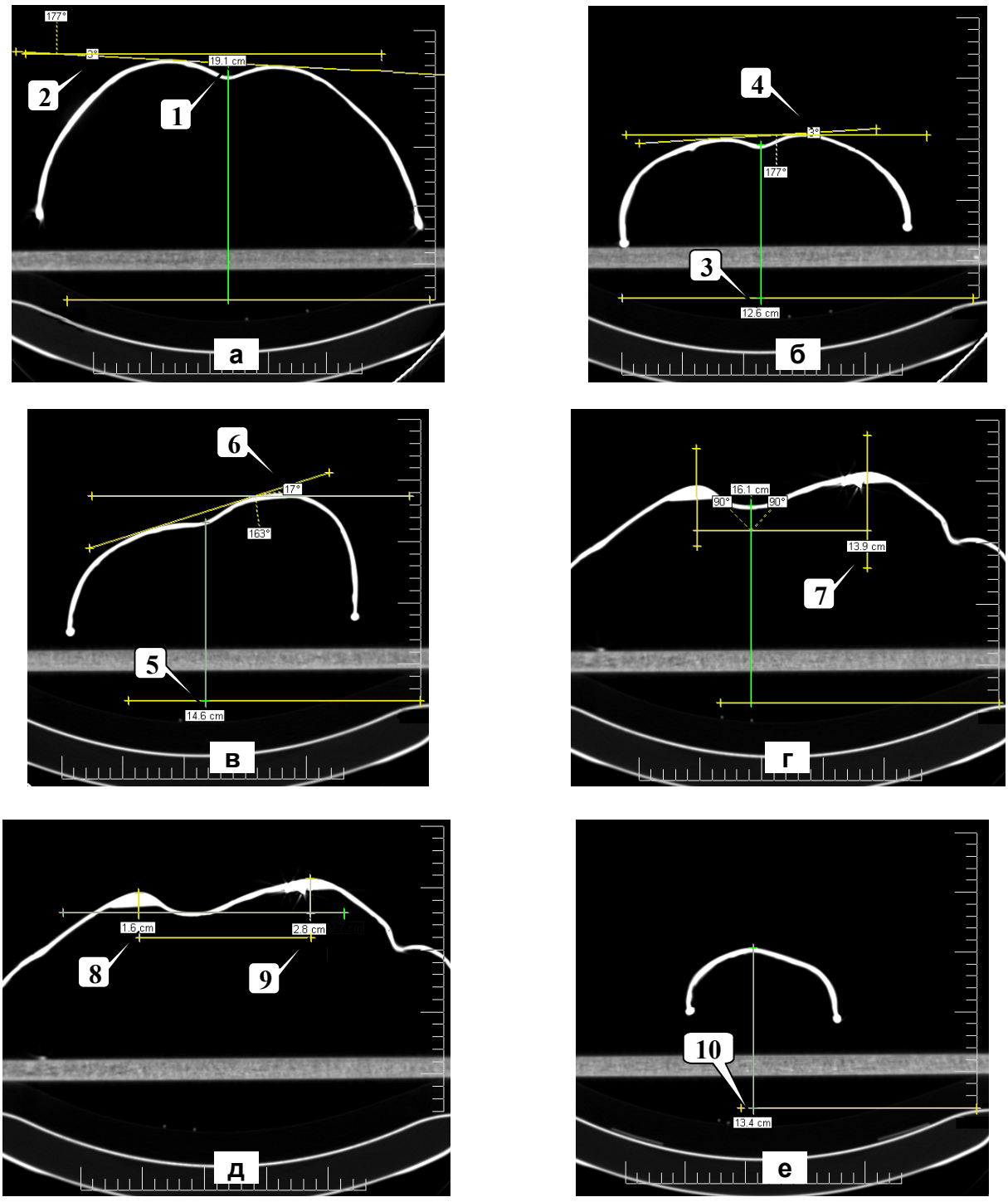


Рис. 5. Горизонтальные сечения поверхности модели:

а – уровень вершины межьягодичной складки (0% шкалы);

б – уровень вершины поясничного лордоза (28.3% шкалы);

в – уровень точки перегиба на границе лордоз – кифоз (50% шкалы);

г – уровень нижних углов лопаток (69% шкалы);

д – уровень нижних углов лопаток (69% шкалы);

е – уровень проекции остистого отростка шейного позвонка С7 (100% шкалы).

Таблица

№	Наименование параметра	Значение по данным КОМОТ	Значение по данным МСКТ	Разность (КОМОТ-МСКТ)
1	Высота рельефа на уровне вершины межьягодичной складки (0% шкалы), см	6,48	6,5*(19,1)	-0,02
2	Угол горизонтального поворота поверхности на уровне вершины межьягодичной складки (0% шкалы), °	-3,2	-3,0	-0,2
3	Высота рельефа на уровне вершины поясничного лордоза (28.3% шкалы), см	0	0* (12,6)	0
4	Угол горизонтального поворота поверхности на уровне вершины поясничного лордоза (28.3% шкалы), °	3,01	3,0	0,01
5	Высота рельефа на уровне точки перегиба на границе лордоз–кифоз (50% шкалы), см	2,05	2,0* (14,6)	0,05
6	Угол горизонтального поворота поверхности на уровне точки перегиба на границе лордоз–кифоз (50% шкалы), °	17,01	17,0	0,01
7	Расстояние между экстремальными точками горизонтального сечения на уровне нижних углов лопаток (69% шкалы), см	13,86 **	13,9	-0,06
8	Высота экстремума рельефа для левой лопатки (69% шкалы), см	1,58 **	1,6	-0,02
9	Высота экстремума рельефа для правой лопатки (69% шкалы), см	2,83 **	2,8	0,03
10	Высота рельефа на уровне проекции остистого отростка шейного позвонка С7 (100% шкалы), см	0,75	0,8* (13,4)	-0,05
11	Длина туловища от уровня вершины межьягодичной складки (0% шкалы) до уровня проекции остистого отростка шейного позвонка С7 (100% шкалы), см	50,02	50,0	0,02

* – значения параметров получены путем вычитания из измеренных высот, указанных на соответствующих рисунках и приведенных в круглых скобках, значения высоты для вершины поясничного лордоза (12,6 см на рис. 5б);

** – параметры получены при интерактивном анализе топографических данных

Приведенные в таблице данные свидетельствуют, что расхождение в результатах восстановления поверхности модели туловища человека методами КОМОТ и МСКТ находятся в пределах точности интерактивного расчерчивания профилей МСКТ посредством программного обеспечения eFilm Lite Version 1.9.4 и не превышают ±0.5 мм для оценки продольно-поперечных размеров и глубины рельефа модели, а также ±0.5° для оценки углов поворота поверхности в горизонтальной плоскости. Однако такая точность волне достаточна для задач медицинской диагностики методом КОМОТ, так как основным источником погрешности (существенно превышающей указанных уровень) при обследовании живых людей является вариабильность и нестабильность позы пациента от обследования к обследованию.

Заключение. Проведено восстановление 3D поверхности пластиковой модели туловища больного сколиозом III степени с правосторонней дугой искривления в грудном отделе позвоночника двумя сопоставляемыми методами: компьютерной оптической топографии и многосрезовой компьютерной томографии с использованием серийных медицинских

диагностических установок ТОДП и Sensation 4. Расхождение в оценке наиболее значимых клинически параметров, полученное по восстановленной двумя методами 3D поверхности, не превысило ±0.5 мм и ±0.5 º, что вполне достаточно для задач медицинской диагностики по топографическим данным.

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., Фомичев Н.Г.** Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии. //Известия ТРТУ. Тематический выпуск. Медицинские информационные системы. "Материалы научно-технической конференции - Медицинские информационные системы – МИС-2000". Таганрог: ТРТУ, 2000. №4(18). – С.69-73.
5. **Сарнадский В.Н., Фомичев Н.Г.** Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии. –Пособие для врачей МЗ РФ. –Новосибирск: НИИТО, 2001. –44с.
6. **Sarnadskiy V.N., Fomichev N.G., Mikhailovsky M.V.** Use of Functional Tests to Increase the Efficiency of Scoliosis Screening Diagnosis by COMOT Method //Research into Spinal Deformities 4, Th.B. Grivas Ed., IOS Press 91, 2002. –P.204-210.
7. “Siemens System Owner Manual Somatom Sensation 4”, Siemens AG 2002.