



ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОПОГРАФИИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ МОДЕЛИ ТУЛОВИЩА ЧЕЛОВЕКА

В.Н. Сарнадский¹, С.Я. Вильбергер¹, А.В. Шевченко², Т.Н. Садовая¹

¹Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии

²Новосибирский НИИ патологии кровообращения им. акад. Е.Н. Мешалкина

Цель исследования. Изучение точности восстановления формы трехмерной поверхности туловища человека методами компьютерной оптической топографии и многосрезовой компьютерной томографии.

Материал и методы. В качестве объекта исследования использована модель дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени с правосторонней дугой искривления в грудном отделе позвоночника. Обследование методом компьютерной оптической топографии проводилось на серийной установке ТОДП фирмы «МЕТОС», а методом многосрезовой компьютерной томографии — на спиральном томографе «Siemens Somatom Sensation-4».

Результаты. Сравнение величин наиболее значимых для диагностики деформаций позвоночника клинических параметров, полученных по данным двух методов, показало, что разница их значений не превышает $\pm 0,5$ мм для метрических и $\pm 0,5^\circ$ для угловых параметров.

Заключение. Метод компьютерной оптической топографии обеспечивает точность восстановления рельефа поверхности туловища человека, сопоставимую с методом многосрезовой компьютерной томографии, что позволяет с его помощью неинвазивно и достоверно оценивать клинически значимые параметры дорсальной поверхности туловища человека.

Ключевые слова: компьютерная оптическая топография, компьютерная томография, трехмерный рельеф поверхности.

ACCURACY STUDY OF SURFACE SHAPE RECONSTRUCTION OF A HUMAN BODY MODEL BY COMPUTER OPTICAL TOPOGRAPHY

V.N. Sarnadsky, S.Y. Vilberger, A.V. Shevchenko, T.N. Sadovaya

Objective. To study the accuracy of 3D surface reconstruction of human body model by computer optical topography as compared to a multislice computed tomography.

Material and Methods. A model of a trunk dorsal surface of a patient with III Grade right side scoliosis in the thoracic spine was used for study. Computer optical topography was performed with a serial installation TODP, METOS Ltd., and multislice computed tomography — with a helical tomograph Siemens Somatom Sensation 4.

Results. Comparison of obtained magnitudes of clinical parameters, which are the most significant for diagnostics of spine deformity, revealed that difference in their meanings did not exceed ± 0.5 mm for metrical and $\pm 0.5^\circ$ for angular parameters.

Conclusion. Computer optical topography ensures the accuracy of 3D surface reconstruction of human body model, which is comparable to that of a multislice computed tomography, and provides noninvasive and reliable assessment of important clinical parameters of a human body dorsal surface.

Key Words: computer optical topography, computed tomography, 3D relief of a surface.

Hir. Pozvonoc. 2006;(1):62–67.

Введение

В Новосибирском НИИ травматологии и ортопедии в 1994 г. 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 деформаций позвоночника и нарушений осанки у детей и подростков. В 1996 г. эта система после необходимых клинических испытаний допущена к применению в медицинской практике и в настоя-

щее время широко используется в детской ортопедии: 110 установок ТОДП работают в 44 городах России.

Система ТОДП позволяет дистанционно и бесконтактно определять форму поверхности туловища пациента. Принцип ее действия состоит в проецировании оптического изоб-

ражения 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 восстанавливается цифровая модель обследуемой поверхности туловища 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 Cobb, расчерчиваемому по рентгеновским снимкам позвоночника в прямой проекции [3].

Целью работы явилось экспериментальное исследование точности восстановления рельефа поверхности туловища человека методом КОМОТ путем сопоставления результатов обследования эталонной поверхности в сравнении с методом многосрезовой компьютерной томографии (МСКТ).

Материал и методы

Для оценки точности восстановления трехмерной поверхности была использована модель дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени с правосторонней дугой искривления в грудном отделе позвоночника. Модель (рис. 2а) была изготовлена из стеклопластика толщиной 3 мм и жестко закреплена

на рентгенопрозрачной плоской плите. На поверхность модели были наклеены пассивные светоотражающие маркеры, с помощью которых размечаются анатомические точки костных структур при стандартном обследовании пациентов на установке ТОДП. При обработке снимков па-

циентов эти маркеры автоматически выделяются, их координаты определяются с точностью $\pm 0,1$ мм.

Для восстановления поверхности эталонной модели методом КОМОТ была использована серийная установка ТОДП (производитель ООО «МЕТОС»). В качестве метода сравне-



Рис. 1

Внешний вид установки ТОДП

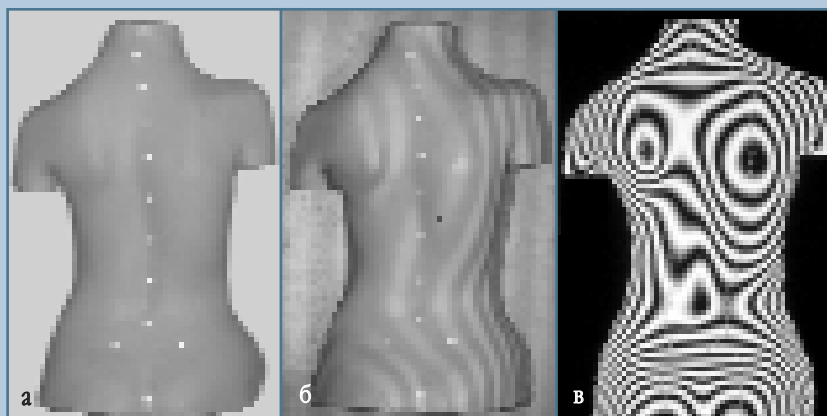


Рис. 2

Пластиковая модель дорсальной поверхности туловища больного сколиозом III степени:

а – внешний вид;

б – исходный снимок при топографическом обследовании;

в – топограмма восстановленной поверхности

ния взяли появившийся и ставший доступным в последние годы метод МСКТ, обладающий уникальными возможностями восстановления внешней формы и внутренней структуры трехмерных объектов. В работе применяли спиральный томограф «Siemens Somatom Sensation-4», на котором исследована эта же пластиковая модель туловища человека. Для привязки данных двух сопоставляемых методов обследования в качестве реперных точек были использованы светоотражающие маркеры, наклеенные на поверхность модели.

При обследовании на установке ТОДП модель размещалась на рабочей дистанции съемки на вертикально установленном экране, поверхность которого была выставлена перпендикулярно оптической оси ТВ-камеры. Оптическая ось, в свою очередь, выставляется строго горизонтально при юстировке оптической схемы ТОДП. При размещении плиты с 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 (рис. 2б). После обработки снимка с использованием программного обеспечения ТОДП (интегральный пакет ТОРО 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) [2].

На выходной форме латерального анализа (рис. 3а) выведены графические представления восстановленной поверхности, которые включают фронтальную проекцию (левая часть рисунка), топограмму (центр) и четыре графика (правая часть), 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 межъягодичной складки (самый нижний светоотражающий маркер на рис. 2) с точкой проекции на поверхность остистого отростка С7 позвонка (самый верхний светоотражающий маркер на рис. 2); линия-проекция вершин остистых отрос-

тков позвоночного столба (на рис. 3а проходящая справа от ранее рассмотренного отрезка); горизонтально ориентированные отрезки при рассмотрении снизу вверх, задающие ориентацию соответственно таза, нижних углов лопаток и плечевого пояса. Слева от фронтальной проекции приведена процентная шкала, 0 % которой соответствует вершине межъягодичной складки, 100 % –

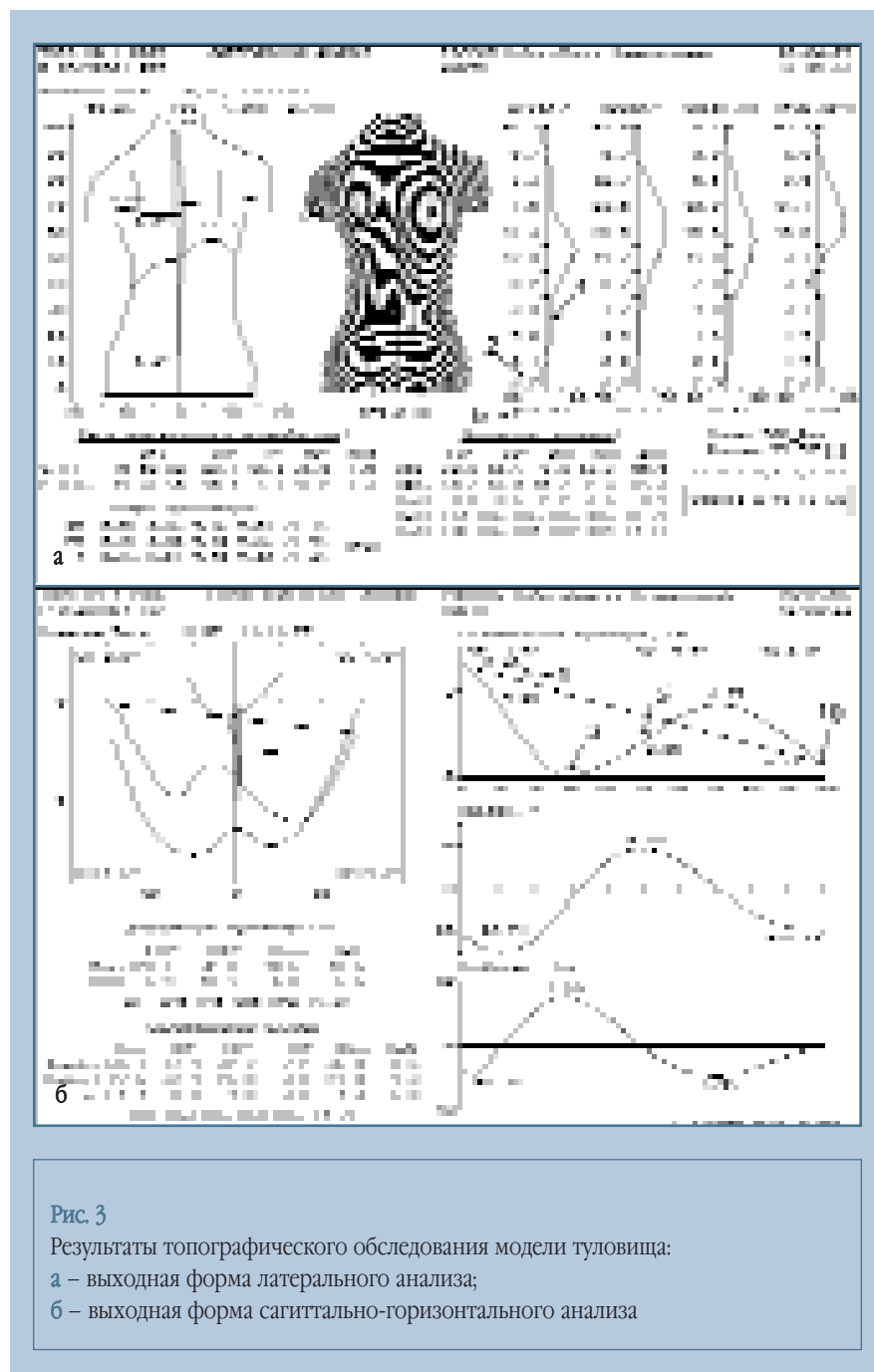


Рис. 3

Результаты топографического обследования модели туловища:

а – выходная форма латерального анализа;

б – выходная форма сагиттально-горизонтального анализа

уровню проекции остистого отростка С7 позвонка. На выходной форме горизонтально-сагиттального анализа (рис. 3б) выводится горизонтальная проекция обследуемой поверхности (левая часть рисунка), соответствующая виду на поверхность сверху, а также сагиттальная проекция линии вершин остистых отростков позвоночника (справа сверху), соответствующая виду на эту линию сбоку. Для сагиттальной проекции, как и для фронтальной, по оси абсцисс используется процентная шкала.

Обследование модели на спиральном томографе проводилось по протоколу «ThoraxCombi» в спиральном режиме сканирования с установкой толщины среза 3 мм и перекрытием 1,5 мм, при этом 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.

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

Результаты

Задачей настоящего исследования была оценка точности и достоверности топографических данных с точки зрения наиболее важных для медицинской диагностики показателей, прежде всего осевой ротации туловища и выраженности физиологических изгибов позвоночника в сагиттальной плоскости. Для поверхности, восстановленной с помощью МСКТ, осуществлялась привязка к процентной шкале, используемой для представления топографических данных. Начало шкалы (сечение 1 на рис. 4) выбрано на вершине межъягодичной складки модели, а конец (сечение 5 на рис. 4) – в точке, соответствующей проекции остистого отростка С7 позвонка. Указанные сечения были найдены при анализе МСКТ-профилей по положению соответствующих светотражающих маркеров в силу 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 – точке перегиба сагиттальной проекции на границе поясничного лордоза и грудного кифоза; сечение 4 – уровню нижних углов лопаток. Полученные сечения 1–5 были интерактивно расчерчены с целью

определения показателей, сопоставимых с аналогичными топографическими. Указанные сечения с полученными значениями анализируемых параметров приведены на рис. 5. Высота профилей горизонтальных сечений задана относительно начала оси ординат отображаемой справа шкалы. 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 не превышала значений $\pm 0,5$ мм для метрических и $\pm 0,5^\circ$ для угловых параметров. 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 со стрелкой в соответствии с таблицей и показаны на рис. 3 для данных по методу КОМОТ и на рис. 4–5 для данных по методу МСКТ.

Приведенные данные свидетельствуют, что расхождение в результатах восстановления поверхности модели

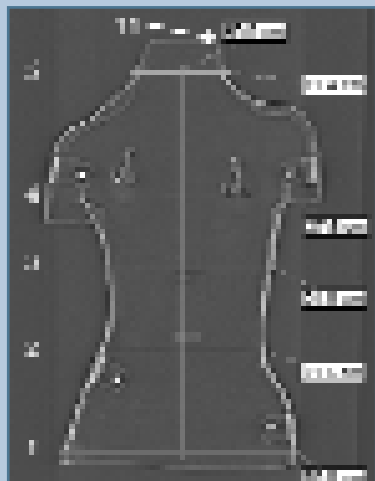


Рис. 4

Обзорный МСКТ-снимок модели туловища:

- 1 – уровень вершины межъягодичной складки (по центру нижнего маркера, соответствующего уровню 0 % шкалы на рис. 3а слева);
- 2 – уровень вершины поясничного лордоза (28,3 % шкалы);
- 3 – уровень точки перегиба на границе поясничного лордоза и грудного кифоза (50 % шкалы);
- 4 – уровень нижних углов лопаток (69 % шкалы);
- 5 – уровень проекции остистого отростка С7 позвонка (по центру верхнего маркера, 100 % шкалы)

Таблица

Сравнение параметров модели по данным двух методов обследования

Параметры	Значение		Разность
	КОМОТ	МСКТ	
1 – высота рельефа на уровне вершины межъягодичной складки (0 % шкалы), см	6,48	6,5* (19,1)	–0,02
2 – угол горизонтального поворота поверхности на уровне вершины межъягодичной складки (0 % шкалы), град.	–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), град.	3,01	3,0	0,01
5 – высота рельефа на уровне точки перегиба на границе лордоза и кифоза (50 % шкалы), см	2,05	2,0* (14,6)	0,05
6 – угол горизонтального поворота поверхности на уровне точки перегиба на границе лордоза и кифоза (50 % шкалы), град.	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 позвонка С ₇ (100 % шкалы), см	0,75	0,8* (13,4)	–0,05
11 – длина туловища от уровня вершины межъягодичной складки (0 % шкалы) до уровня проекции остистого отростка позвонка С ₇ (100 % шкалы), см	50,02	50,0	0,02

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

** значения параметров получены при интерактивном анализе топографических данных.

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 $\pm 0,5$ мм (оценка продольно-поперечных размеров и глубины рельефа модели) и $\pm 0,5^\circ$ (оценка углов поворота поверхности в горизонтальной плоскости). Однако такая точность вполне достаточна для задач медицинской диагностики методом КОМОТ, так как основным источником погрешности, существенно превышающей указанный уровень при обследовании жи-

вых людей, являются вариабельность и нестабильность позы пациента от обследования к обследованию.

Заключение

Метод компьютерной томографии обеспечивает субмиллиметровую точность восстановления внутренней структуры и формы внешней поверхности трехмерных объектов [4]. Результаты выполненных исследований позволяют нам констатировать, что с точки зрения восстановления формы внешней поверхности трехмерных объектов метод КОМОТ

сопоставим с методом МСКТ и позволяет неинвазивно и достоверно оценивать клинически значимые параметры дорсальной поверхности туловища человека.

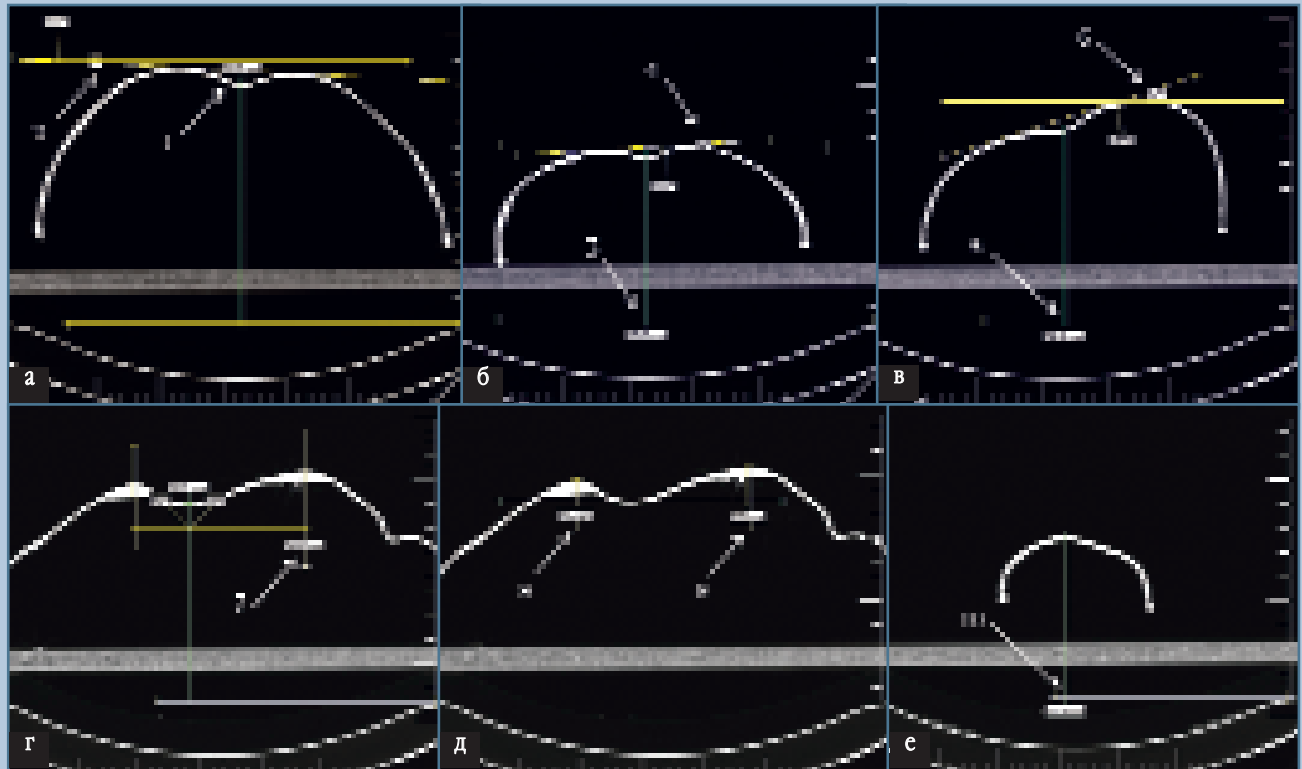


Рис. 5

Горизонтальные сечения поверхности модели:

- а – уровень вершины межъягодичной складки (0 % шкалы);
- б – уровень вершины поясничного лордоза (28,3 % шкалы);
- в – уровень точки перегиба на границе лордоза и кифоза (50 % шкалы);
- г – уровень нижних углов лопаток (69 % шкалы);
- д – уровень нижних углов лопаток (69 % шкалы);
- е – уровень проекции остистого отростка С7 позвонка (100 % шкалы)

Литература

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., Фомичев Н.Г. Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии: Пособие для врачей. Новосибирск, 2001.
3. Cobb J.R. Outline for the study of scoliosis // The American Academy of Orthopedic Surgeons. Instructional Course Lectures. 1948. Vol. 5. P. 261–275.
4. Siemens System Owner Manual. Somatom Sensation 4. Siemens AG. 2002.

Адрес для переписки:

Сарнадский Владимир Николаевич
630091, Новосибирск,
ул. Фрунзе, 17,
metos@online.nsk.su