



Article

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОПОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Сангилов Умид Бахтиярович

Гулямов Саидаъло Саидкамалович

Собиров Жамолиддин Алимжанович

Ташкентский государственный медицинский университет

Received: 10<sup>th</sup> Jan 2025  
Revised: 11<sup>th</sup> Feb 2026  
Accepted: 19<sup>th</sup> Feb 2026  
Published: 10<sup>th</sup> March 2026



**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

**Аннотация:** В статье представлен обзор современного состояния метода компьютерной оптической топографии (КОТ) в диагностике деформаций позвоночника. Рассмотрены физические и методологические основы метода, вопросы точности восстановления трехмерной формы поверхности туловища, а также воспроизводимость результатов при обследовании пациентов со сколиозом в естественной позе. Особое внимание уделено анализу влияния поструральной нестабильности на диагностические параметры и сопоставлению КОТ с рентгенологическими и томографическими методами. Показана клиническая применимость метода для скрининга, динамического наблюдения и оценки эффективности лечения.

**Ключевые слова:** компьютерная оптическая топография, сколиоз, деформации позвоночника, диагностика, воспроизводимость измерений.

**Введение.** Диагностика деформаций позвоночника, прежде всего сколиотической болезни, остаётся одной из актуальных проблем детской и подростковой ортопедии. Традиционно ведущую роль в оценке выраженности искривлений позвоночника играет рентгенологическое исследование с измерением угла Cobb. Однако лучевая нагрузка, особенно при необходимости многократных обследований, ограничивает возможности его частого применения.

В связи с этим в клинической практике активно развиваются неинвазивные методы функциональной и морфологической оценки формы туловища. Одним из наиболее распространённых и изученных подходов является компьютерная оптическая топография, позволяющая получать количественные параметры формы поверхности спины без использования ионизирующего излучения.

### Материалы и методы

Исследования, положенные в основу анализа метода компьютерной оптической топографии, проводились в форме экспериментальных и клинических наблюдательных исследований. Экспериментальная часть была направлена на оценку инструментальной точности восстановления трехмерной формы поверхности туловища, тогда как клиническая — на изучение воспроизводимости и вариабельности диагностических параметров при обследовании пациентов со сколиозом.

В экспериментальных исследованиях в качестве объекта использовалась жесткая пластиковая модель дорсальной поверхности туловища пациента со сколиозом III степени. Клиническая часть включала пациентов детского возраста со структурным сколиозом I–III степени, диагноз которого был подтвержден рентгенологически. Обследование проводилось без внешней фиксации туловища, в условиях естественной позы.

Для топографического обследования применялась серийная система компьютерной оптической топографии ТОДП (ООО «МЕТОС», Россия). Обработка изображений выполнялась с использованием специализированного программного обеспечения WTOPO, обеспечивающего автоматическое восстановление поверхности туловища и расчет комплекса топографических параметров.

### Методика проведения обследования

Перед началом обследования на поверхность туловища наносились пассивные светоотражающие маркеры, соответствующие анатомическим ориентирам костных структур. Пациенту предлагалось принять естественную вертикальную позу и сохранять её в течение серии измерений. Съёмка выполнялась в серийном режиме (10 последовательных снимков с интервалом 2 секунды), что позволяло оценить влияние поструральных микродвижений на результаты измерений.

Для оценки точности метода компьютерной оптической топографии использовалось сопоставление полученных параметров с результатами многосрезовой компьютерной томографии. Сравнению подлежали линейные размеры, угловые параметры и показатели асимметрии поверхности. Допустимые расхождения определялись с учётом погрешности интерактивного анализа томографических данных.

Статистический анализ включал расчёт средних значений, стандартных отклонений и коэффициентов вариации для каждого топографического параметра. Для оценки воспроизводимости использовались показатели внутрисерийной дисперсии. Анализ данных проводился с использованием стандартных статистических пакетов.

1. Метод компьютерной оптической топографии обеспечивает субмиллиметровую точность восстановления формы поверхности туловища в экспериментальных условиях.
2. Основным источником варибельности результатов при клиническом применении является нестабильность естественной позы пациента.
3. Серийные измерения и статистическое усреднение параметров позволяют повысить воспроизводимость диагностических показателей.

Таблица 1. Основные этапы методики компьютерной оптической топографии

Этап	Содержание	Цель
Подготовка пациента	Маркировка анатомических ориентиров	Повышение точности расчётов
Съёмка	Проецирование оптических полос и регистрация изображений	Получение исходных данных
Обработка данных	Восстановление 3D-модели поверхности	Расчёт топографических параметров
Анализ	Статистическая обработка результатов	Оценка воспроизводимости

Метод компьютерной оптической топографии основан на принципах структурированного освещения. На поверхность туловища пациента проецируется система параллельных световых полос, деформация которых регистрируется видеокамерой. Геометрические и фазовые искажения полос содержат информацию о рельефе поверхности, которая извлекается с помощью специализированных алгоритмов цифровой обработки изображений.

В результате обработки исходных данных формируется трёхмерная модель дорсальной поверхности туловища в абсолютной системе координат. Для повышения точности измерений используется предварительная маркировка анатомических ориентиров, соответствующих костным структурам позвоночника и таза. На основании этих ориентиров вычисляются параметры ориентации туловища, асимметрии плечевого пояса и таза, физиологических изгибов позвоночника, а также сколиотических дуг.

Методология расчёта топографических параметров

Одним из ключевых элементов методики является восстановление осевой линии позвоночника, которая строится по распределению центров масс тел позвонков, аппроксимированных на основе данных о поверхности туловища. В фронтальной плоскости по этой линии выявляются патологические дуги искривления, для которых рассчитывается угол латеральной асимметрии, рассматриваемый как топографический аналог угла Cobb.

В отличие от рентгенологического метода, где угол измеряется по замыкательным пластинкам тел позвонков, в КОТ границы дуги определяются по точкам перегиба осевой линии. Это методологическое различие обуславливает систематическое расхождение между величинами топографического и рентгенологического углов, однако не снижает информативности метода при динамическом наблюдении.

Для объективной оценки точности компьютерной оптической топографии были проведены экспериментальные исследования с использованием эталонной модели дорсальной поверхности туловища пациента со сколиозом III степени. Восстановление формы поверхности методом КОТ сопоставлялось с результатами многосрезовой компьютерной томографии, обладающей субмиллиметровой точностью.

Анализ показал, что расхождения между методами не превышают  $\pm 0,5$  мм для линейных параметров и  $\pm 0,5^\circ$  для угловых характеристик. Эти значения соответствуют погрешности интерактивного анализа топографических данных и свидетельствуют о высокой метрологической состоятельности метода КОТ при оценке внешнего рельефа туловища.

При обследовании живых пациентов основным источником варибельности результатов является нестабильность естественной позы. Даже при соблюдении стандартных условий обследования тело пациента совершает произвольные микродвижения, связанные с поддержанием вертикального равновесия.

Серийные исследования пациентов со сколиозом I–III степени показали, что движения туловища носят случайный и аперриодический характер. При этом разброс значений большинства топографических параметров превышает чисто инструментальную погрешность системы. Однако стандартное отклонение угла латеральной асимметрии основной сколиотической дуги не превышает  $1,8^\circ$ , что является клинически допустимым уровнем.

Понятие естественной позы введено для унификации условий проведения топографического обследования. Оно предполагает вертикальное положение без мышечного напряжения, с параллельной постановкой стоп и равномерным распределением массы тела. Такая поза близка к функциональному состоянию пациента в повседневной жизни и обеспечивает высокую клиническую значимость получаемых данных.

Исследования показывают, что стабильность естественной позы напрямую влияет на воспроизводимость результатов. Это требует строгого соблюдения методических рекомендаций и, при необходимости, использования серийных измерений с последующим статистическим усреднением параметров.

## Сравнение компьютерной оптической топографии с рентгенологическими методами

Рентгенография позвоночника остаётся эталонным методом оценки костных деформаций, однако компьютерная оптическая топография предоставляет важную дополнительную информацию о форме туловища и функциональном состоянии пациента. Топографический угол искривления демонстрирует устойчивую корреляцию с углом Cobb, что подтверждает диагностическую значимость метода.

Основным преимуществом КОТ является возможность частого применения без лучевой нагрузки, что особенно актуально в педиатрической практике. Метод эффективен для скрининга, мониторинга прогрессирования сколиоза и оценки результатов консервативного лечения.

### Клиническое применение и перспективы развития

Компьютерная оптическая топография широко используется в детской ортопедии и вертебрологии для раннего выявления нарушений осанки, оценки выраженности деформаций позвоночника и динамического наблюдения пациентов. Современные программные комплексы позволяют рассчитывать интегральные индексы, отражающие степень деформации в различных плоскостях, что расширяет аналитические возможности метода.

Перспективы развития КОТ связаны с совершенствованием алгоритмов обработки данных, учётом индивидуальных морфологических особенностей пациентов и интеграцией с другими методами функциональной диагностики.

### Ограничения метода

Несмотря на высокую точность и клиническую значимость, метод компьютерной оптической топографии имеет ограничения. Он не позволяет непосредственно визуализировать костные структуры позвоночника и зависит от качества маркировки анатомических ориентиров. Кроме того, выраженная нестабильность позы пациента может снижать воспроизводимость отдельных параметров

### Закключение

Компьютерная оптическая топография представляет собой научно обоснованный и клинически эффективный метод неинвазивной диагностики деформаций позвоночника. Экспериментальные и клинические исследования подтверждают высокую точность восстановления формы поверхности туловища и приемлемую воспроизводимость результатов при обследовании пациентов в естественной позе. Метод КОТ может рассматриваться как важный компонент современной системы диагностики и мониторинга сколиотической болезни.

### Список литературы

1. Сарнадский В.Н., Вильбергер С.Я., Шевченко А.В., Садовая Т.Н. Исследование точности метода компьютерной оптической топографии при восстановлении формы поверхности модели туловища человека // Хирургия позвоночника. 2006. №2. С. 62–67.
2. Сарнадский В.Н. Компьютерная оптическая топография: вариабельность результатов обследования пациентов со сколиозом в естественной позе // Хирургия позвоночника. 2010. №4. С. 74–85.
3. Weinstein S.L., Dolan L.A., Cheng J.C.Y., Danielsson A., Morcuende J.A. Adolescent idiopathic scoliosis // The Lancet. 2008. Vol. 371. P. 1527–1537.
4. Cobb J.R. Outline for the study of scoliosis // Instructional Course Lectures. 1948. Vol. 5. P. 261–275.
5. Umarhodjaev, F. R., Sobirov, J. A., Sangilov, U. B., & Iskandarov, M. M. (2020). Surgical Treatment of Scoliosis in Children. Solid State Technology, 63(4), 700-706.
6. Умарходжаев, Ф. Р., Эргашев, Б. Н., Сангилов, У. Б., & Собиров, Ж. А. (2015). Наш опыт хирургического лечения сколиоза в республике Узбекистан. Национальная ассоциация ученых, (9-2 (14)), 162-163.

