



# СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИКИ СКОЛИОЗА ПРИ СКРИНИНГЕ ШКОЛЬНИКОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОПОГРАФИИ И ВИДЕОРАСТЕРСТЕРЕОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПОГРАФОВ ТОДП И FORMETRIC

В.Н. Сарнадский<sup>1</sup>, Д.Ю. Баторов<sup>2</sup>, О.А. Щучкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Медицинские топографические системы «МЕТОС», Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Поликлиника «Гиппократ», Димитровград, Россия

**Цель исследования.** Анализ результатов диагностики сколиоза при обследовании одной и той же группы школьников топографами ТОДП и Formetric.

**Материал и методы.** Обследованы 364 школьника (197 девочек и 167 мальчиков, средний возраст  $8,92 \pm 1,90$  года), разделенных на 3 возрастные группы: 6–8 лет ( $n = 135$ , средний возраст  $7,22 \pm 0,70$  года), 8–10 лет ( $n = 134$ , средний возраст  $8,95 \pm 0,56$  года), 10–12 лет ( $n = 95$ , средний возраст  $11,35 \pm 1,59$  года). Детей поочередно обследовали методами компьютерной оптической топографии и видеорастерстереографии на двух топографах: ТОДП (2021 г. выпуска, ПО WTOPO 5.4-2021) и Formetric 4D (2015 г. выпуска, ПО DICAM2.6.4). Для ТОДП использовали 3 стандартных для скрининга позы, для Formetric — одну с усреднением 12 кадров.

**Результаты.** Полученная статистика по распределению топографических аналогов угла Cobb (для ТОДП — угла латеральной асимметрии, для Formetric — угла сколиоза) показала значительное расхождение процента выявленного сколиоза: 0–5° — 50,0 % (ТОДП) и 4,10 % (Formetric); 5–7° — 33,8 % и 9,3 %; 7–9° — 12,4 % и 17,9 %; 9–15° — 3,8 % и 51,6 %; 15–25° — 0,0 % и 16,2 %; 25–50° — 0,0 % и 0,8 % соответственно. По группам клинически значимый сколиоз (9° и более) составил для ТОДП 3,7 %, 2,2 %, 6,6 % (средний — 3,8 %), для Formetric — 71,1 %, 70,1 %, 63,2 % (средний — 68,7 %). При этом на ТОДП выявлено только 14 случаев клинически значимого сколиоза (от 9 до 15°), в том числе 9 структуральных и 5 компенсаторных сколиозов, а по данным Formetric — 250 сколиозов (188 — от 9 до 15°, 59 — от 15 до 25°, 3 — от 25 до 37°). Для девяти структуральных сколиозов (по ТОДП) диагноз Formetric совпал полностью только в двух случаях и в трех (55,0 %) — частично, а в пяти случаях компенсаторного сколиоза (по ТОДП) совпал полностью в трех случаях и в одном — частично (80,0 %).

**Заключение.** По результатам топографического скрининга 364 школьников на топографе ТОДП выявлено 3,8 % сколиозов 9° и более, что соответствует средним данным по скринингу в ряде стран мира. По результатам обследования на топографе Formetric у тех же школьников выявлено 68,7 % сколиозов 9° и более, что позволяет судить о гипердиагностике и сделать вывод о слабой пригодности Formetric для топографического скрининга сколиоза у школьников.

**Ключевые слова:** сколиоз, скрининг школьников, компьютерная оптическая топография, видеорастерстереография.

Для цитирования: Сарнадский В.Н., Баторов Д.Ю., Щучкина О.А. Сравнение возможностей диагностики сколиоза при скрининге школьников методами компьютерной оптической топографии и видеорастерстереографии с использованием топографов ТОДП и Formetric // Хирургия позвоночника. 2023. Т. 20. № 1. С. 16–27.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2023.1.16-27>.

## COMPARISON OF SCOLIOSIS DIAGNOSTIC CAPABILITIES IN SCREENING OF SCHOOLCHILDREN BY COMPUTER OPTICAL TOPOGRAPHY AND VIDEO RASTERSTEREOGRAPHY USING TODP AND FORMETRIC TOPOGRAPHS

V.N. Sarnadskiy<sup>1</sup>, D.Y. Batorov<sup>2</sup>, O.A. Shchuchkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medical Topographic Systems METOS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Polyclinic Hippocrates LLC, Dimitrovgrad, Russia

**Objective.** To analyze the results of scoliosis diagnostics during the examination of the same group of schoolchildren by TODP and Formetric topographs.

**Material and Methods.** A total of 364 schoolchildren (197 girls and 167 boys, mean age  $8.92 \pm 1.9$  years) were examined, divided into 3 age groups: 6–8 years old ( $n = 135$ , mean age  $7.22 \pm 0.7$  years), 8–10 years old ( $n = 134$  children, mean age  $8.95 \pm 0.56$  years), 10–12 years old ( $n = 95$  children, mean age  $11.35 \pm 1.59$  years). Schoolchildren were examined in turn by computer optical topography (TODP, re-

leased in 2021, WTOPO 5.4-2021 software) and video raster stereography (Formetric 4D released in 2015, DICAM2.6.4 software). Three standard screening poses were used for TODP, and one pose with averaging 12 frames — for Formetric.

**Results.** The obtained statistics on the distribution of topographic analogs of the Cobb angle (the angle of lateral asymmetry for TODP and the angle of scoliosis for Formetric) showed a significant discrepancy in the percentage of detected scoliosis cases: 0–5° — 50,0 % (TODP) and 4.1 % (Formetric); 5–7° — 33.8 % and 9.3 %; 7–9° — 12.4 % and 17.9 %; 9–15° — 3.8 % and 51.6 %; 15–25° — 0,0 % and 16.2 %; 25–50° — 0,0 % and 0.8 %, respectively. Clinically significant cases of scoliosis (9° or more) in the age groups was 3.7 %, 2.2 %, 6.6 % (mean — 3.8 %) for TODP and 71.1 %, 70.1 %, 63.2 % (average — 68.7 %) for Formetric. At the same time, only 14 cases of clinically significant scoliosis (from 9° to 15°), including 9 structural and 5 compensatory scoliosis, were detected by TODP, and 250 scoliosis cases (188 — from 9° to 15°, 59 — from 15° to 25°, 3 — from 25° to 37°) — by Formetric. For 9 structural scoliosis cases (according to TODP), the Formetric diagnosis coincided completely only in 2 cases and partially in 3 (55 %), and in 5 cases of compensatory scoliosis (according to TODP) it coincided completely in 3 cases and partially in 1 (80 %).

**Conclusion.** According to the results of topographic screening of 364 schoolchildren using the TODP topograph, 3.8 % of scoliosis cases of 9° or more was detected, which corresponds to the average screening data in a number of countries around the world. Examination of the same schoolchildren using the Formetric topograph revealed 68.7 % of cases of scoliosis of 9° or more, which allows us to judge about overdiagnosis and conclude that Formetric is poorly suited for topographic screening of scoliosis in schoolchildren.

**Key Words:** scoliosis, screening of schoolchildren, computer optical topography, video rastestereography.

Please cite this paper as: Sarnadskiy VN, Batorov DY, Shchuchkina OA. Comparison of scoliosis diagnostic capabilities in screening of schoolchildren by computer optical topography and video rasterstereography using TODP and Formetric topographs. *Hir. Pozvonoc.* 2023;20(1):16–27. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14551/ss2023.1.16-27>.

Идиопатический сколиоз и в XXI в. остается наиболее тяжелой и нерешенной проблемой детской ортопедии [1].

Основным вопросом при решении задачи профилактики сколиоза является вопрос о возможности его неинвазивной (безлучевой) диагностики на ранних стадиях. В середине 60-х гг. прошлого века для этой цели был инициирован школьный скрининг сколиоза с использованием теста Адамса [2]. Идея скрининга сколиоза стала еще более популярной в конце прошлого века благодаря публикации Takasaki [3] о возможности применения муаровой топографии для обследования живых людей. Все специалисты, которые занимались скринингом, столкнулись с общей проблемой — большим числом ложноположительных результатов, а также большим количеством начальных форм сколиоза с углом Cobb 5–10°. Высокий процент выявляемых при скрининге начальных форм заставил SRS в 1980-х гг. пересмотреть определение сколиоза и установить, что сколиозом нужно считать боковое искривление позвоночника с углом по Cobb 10° и более, а случаи с меньшим градусом рассматривать как spinal asymmetry. Но даже при таком определении процент ложноположительных результатов скрининг-тестов остался большим

и поставил вопрос о целесообразности скрининга (по большей части экономической). По этой причине во многих зарубежных странах, таких как Австрия, Канада, Франция, Германия, Израиль, Норвегия, Польша, Испания и Великобритания, отказались от программ скрининга сколиоза [4]. Тем не менее в Греции, Южной Корее, Гонконге, Малайзии, в половине штатов США скрининг был продолжен, а в Японии действует в ранге закона [4].

С середины 1980-х гг. в качестве дальнейшего развития муаровой топографии появились компьютерные системы поверхностной топографии (Surface Topography, ST) [5–12], которые позволили получать цифровую 3D-модель поверхности туловища и по ней оценивать деформацию позвоночника. Такой подход открыл новые возможности для скрининга сколиоза на основе достижений компьютерной техники.

Первой медицинской компьютерной системой для определения формы тела человека была английская ISIS, которую в 1983 г. разработал Turner-Smith [5]. Точность восстановленного рельефа составляла ±3 мм, время сканирования равнялось 2 с, время обработки — 10 мин. Однако очень важным при создании ISIS оказался предложенный весьма элегантный

способ оценки угла сколиоза по данным топографии [13]. В этом способе сначала выделяли по наклеенным на кожу маркерам линию остистых отростков позвоночника, вдоль нее рассчитывали ротацию поверхности (в горизонтальной плоскости) и с учетом полученных данных восстанавливали модель оси позвоночника. По фронтальной проекции этой модели подобно рентгенограмме определяли угол латеральной асимметрии (ЛА) — топографический аналог угла Cobb. Способ имел понятный физический смысл и показал высокую корреляцию с данными рентгенологического обследования. По результатам обследования 52 больных сколиозом (от 10 до 50°) была получена корреляция для углов ЛА и Cobb, равная 0,82 [13]. Способ оказался весьма перспективным и используется в большинстве современных топографов, в том числе в наиболее распространенных в медицинской практике немецком топографе Formetric [8] и российском ТОДП [9].

Метод видеорастерстереографии и созданный на его основе прототип топографа Formetric разработан группой немецких авторов из Мюнхенского университета [14, 15]. В 1994 г. фирма Jenoptik Technologie (Германия) освоила серийное производство это-

го топографа, а затем права на производство были переданы в другую немецкую фирму Diers Intrenational, которая переработала конструкцию топографа и с 2003 г. стала его производить под маркой Diers Formetric. При обследовании на этом топографе на спину пациента проецируется статическое изображение набора горизонтальных светлых линий (их ширина меньше интервала между ними). Обработка введенных в компьютер изображений этих линий производится путем определения координат центров линий. По полученным координатам с помощью триангуляции рассчитывается высота рельефа для точек поверхности, куда попали линии. С учетом расстояния в 10 мм между линиями удастся получить на теле пациента от 10 до 15 тыс. точек с измеренными значениями высоты рельефа, а остальные точки 3D-модели поверхности достраиваются путем интерполяции. В отличие от способа Turner-Smith, авторы Formetric отказались от маркировки линии остистых отростков, а вместо этого стали автоматически выделять линию симметрии дорсальной поверхности туловища, которая разделяет каждое горизонтальное сечение на левую и правую половины по критерию минимума суммарной разности кривизны. Используя эту линию симметрии как оценку положения линии остистых отростков, авторы реализовали предложенный Turner-Smith способ построения модели оси позвоночника. Для оценки работоспособности такого подхода и соответствия его результатов данным рентгена они обследовали 113 больных с углом Cobb до 52° и получили стандартное отклонение разности угла Cobb и угла сколиоза Formetric, равное 7,9° [15]. В 2012 г. Frerich et al. [16] провели исследование сопоставимости данных рентгена и топографии на современной версии топографа Diers Formetric 4D и получили корреляцию с рентгеном для грудных дуг, равную 0,872, а для поясничных – 0,758, при этом средняя разность топографического угла с Cobb составила для грудных дуг

+7,0°, а для поясничных +9,4°, а диапазон ошибки соответственно составил 0–19° и 0–22°. В 2019 г. Bassani et al. [17] сопоставили данные Formetric 4D и малодозной рентгенологической системы EOS Imaging (Франция), которая по прямому и боковому снимкам восстанавливает 3D-модель позвоночника. Они получили корреляцию с углом Cobb, равную только 0,55, и средняя разность между углом Cobb и углом сколиоза Formetric составила  $18^\circ \pm 11^\circ$  (при среднем угле Cobb, равном  $33^\circ \pm 15^\circ$ , то есть топографическая оценка оказалась заниженной в 2,2 раза). Приведенные данные Frerich et al. и Bassani et al. свидетельствуют о том, что Formetric не может рассматриваться для диагностики сколиоза как альтернатива рентгену.

Основа метода компьютерной оптической топографии (КОМОТ) была заложена первым автором данной статьи при работе над кандидатской диссертацией (1990), в рамках которой был создан прототип топографической системы для измерения рельефа тела человека. Первый экспериментальный макет для обследования больных сколиозом был создан и успешно испытан в 1993 г. совместно со специалистами Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна. В методе КОМОТ на тело человека с прецизионного раstra проецируется статическое изображение в виде вертикальных черных и белых полос одинаковой ширины. Для получения рельефа поверхности используется разработанный первым автором метод пространственной фазометрии, позволяющий определять высоту рельефа в каждой точке введенного в компьютер изображения полос (150–200 тыс. точек на теле пациента). По качеству восстановленной 3D-модели туловища ТОДП существенно превосходит все известные на сегодня медицинские топографы, включая Formetric.

Для определения топографического угла ЛА ТОДП на начальном этапе был использован способ Turner-Smith с маркировкой линии остистых отростков светоотражаю-

щими маркерами (4 × 4 мм). Однако при проведении массовых обследований от маркировки пришлось отказаться из-за дополнительной задержки, а главное – по причине некорректной маркировки, которую выполняли проводящие скрининг медсестры. При этом для выделения линии остистых отростков без маркировки, в отличие от подхода Dierup и Hierholzer, был применен иной подход – выделение этой линии по локальным топографическим ориентирам: остистому отростку С<sub>7</sub>, центральной борозде спины и выступающим вдоль нее остистым отросткам, а также по межъягодичной складке. Следует отметить, что такой подход корректно реализуем только при высоком качестве восстанавливаемой 3D-модели поверхности и хорошо работает при наличии рельефных анатомических ориентиров, что бывает не у всех пациентов. Также могут встречаться ложные ориентиры – артефакты (неприбранные волосы, татуировки, рубцы и т.д.). Поэтому за любым топографом нужен контроль со стороны врача-интерпретатора для обработки и коррекции возможных ошибок, а эффективность работы того или иного топографа может быть оценена по проценту случаев, требующих вмешательства человека.

В 2009 г. С.Н. Балдова [18] в своей кандидатской работе оценила достоверность диагностики идиопатического сколиоза на ТОДП и установила, что в 92 % случаев топографический диагноз по степени сколиоза по Чаплину совпал с рентгенологическим. В 2014 г. врач-ортопед И.Л. Багриновская [19] провела в детской городской поликлинике № 110 Москвы исследование сопоставимости углов Cobb и ЛА ТОДП. Исследование проведено на группе из 50 больных идиопатическим сколиозом (I степень – 32 человека, II – 17, III – 1; средний угол Cobb –  $9,90^\circ \pm 5,70^\circ$ ; диапазон – 2,5–33,3°). Среднее значение разности «Cobb-ЛА» у Багриновской составило -0,1° (то есть оценка оказалась несмещенной), стандартное отклонение разности – 1,0°, а кор-

реляция по Пирсону – 0,985. Представленные данные показали высокую сопоставимость углов ЛА и Cobb при идиопатических сколиозах до 50°. Для расширения диапазона точной оценки в 2015–2017 гг. разработан нелинейный алгоритм построения оси позвоночника по топографическим данным [20, 21], что позволило добиться разности «Cobb-ЛА» в пределах  $\pm 5^\circ$  для 92 % случаев. Для грудных сколиозов (Cobb –  $67,1^\circ \pm 33,2^\circ$ , диапазон 6–145°) среднее значение разности «Cobb-ЛА» составило  $-0,23^\circ$ , стандартное отклонение –  $2,96^\circ$ , диапазон от  $-9,07^\circ$  до  $+7,95^\circ$ , корреляция по Пирсону – 0,994. Для поясничных и груднопоясничных сколиозов (Cobb –  $34,66^\circ \pm 27,00^\circ$ , диапазон 6–114°) среднее значение разности составило  $+0,72^\circ$ , стандартное отклонение –  $2,73^\circ$ , диапазон от  $-5,66^\circ$  до  $+9,52^\circ$ , корреляция – 0,996. Приведенные данные свидетельствуют о том, что ТОДП обеспечивает высокую сопоставимость с рентгеном и может быть использован для диагностики сколиоза.

Formetric разрабатывался в основном для задач контроля состояния больших сколиозом и оценки результатов их лечения. ТОДП создавался для скрининга сколиоза у школьников и стал использоваться с 1996 г. К настоящему времени накоплен огромный опыт (обследовано более 500 тыс. школьников), который позволил разработать полностью автоматическую технологию топографического скрининга. Formetric не так давно стали использовать для скрининга: так, в Гомельской области Белоруссии в 2014 г. проведено исследование по ранней диагностике деформаций позвоночника с использованием Formetric [22]. По предложению ООО «Поликлиника «Гиппократ» (Дмитровград) проведено совместное с ООО «Метос» исследование по оценке возможности применения Formetric для скрининга.

Цель исследования – сопоставление результатов диагностики сколиоза при обследовании одной и той же группы школьников топографами ТОДП и Formetric.

## Материал и методы

### Пациенты

Обследованы 364 школьника (197 девочек и 167 мальчиков; средний возраст –  $8,92 \pm 1,90$ ; интервал от 4,2 до 16,9 года) из трех образовательных учреждений Дмитровграда. Родители подписали информированное согласие на топографическое обследование детей.

Школьников для дальнейшего анализа разделили на 3 возрастные группы:

- младшая (6–8 лет):  $n = 135$  (67 девочек и 68 мальчиков), средний возраст –  $7,22 \pm 0,70$  года (от 4,2 до 7,9 года);

- средняя (8–10 лет):  $n = 134$  (75 девочек и 59 мальчиков), средний возраст –  $8,95 \pm 0,56$  года (от 8,03 до 9,98 года);

- старшая (10–12 лет):  $n = 95$  (55 девочек и 40 мальчиков), средний возраст –  $11,35 \pm 1,59$  года (от 10,2 до 16,9 года).

### Методики

Школьников поочередно обследовали на двух развернутых в одном помещении топографах: ТОДП (2021 г. выпуска, ПО WTOPO 5.4-2021) и Formetric 4D (2015 г. выпуска, ПО DICAM2.6.4). Обследование на ТОДП проводил первый автор статьи при участии медсестры для установки школьников в трех стандартных для скрининга позах: П1 – естественной, П2 – активной с выпрямленным усилием постуральных мышц позвоночника, П5 – с сомкнутыми впереди туловища локтями [23]. Обследование на Formetric проводили второй и третий авторы статьи в одной естественной позе с использованием режима усреднения 12 кадров (по стандартной методике, принятой для Formetric). Маркировку светоотражающими маркерами в данном исследовании не применяли.

Обработку данных пациентов при съемке на ТОДП проводили автоматически с одновременной постановкой формализованного топографического диагноза по трем плоскостям: фронтальной, горизонтальной и сагитальной [24]. Во фронтальной плоскости диагноз устанавлива-

ли по усредненному по трем позам углу ЛА. При этом проводили контроль суммируемых дуг: они должны быть на одном уровне позвоночника, на одной стороне (слева или справа) и значительно не отличаться по значению ЛА. Если одно из этих условий не выполняется, то в качестве диагноза выводилось «СС1?» или «СС?», что означало ошибку и требовало коррекции обработки врачом-интерпретатором. В версии ПО WTOPO 5.4-2021 достигнут высокий уровень корректной обработки пациентов (более 97 %), поэтому потребовалось откорректировать обработку только для четырех пациентов младшей группы, для одного – средней, для трех – старшей, то есть для 2,2 % от всех обследованных. Данные Formetric после съемки обрабатывал 3-й автор: процент случаев, для которых потребовалась коррекция (границы и чаще точек линии симметрии), составил 31,6 %, а по группам, начиная с младшей, их оказалось 42, 53 и 20 случаев (соответственно 31,1 %, 39,5 % и 21,0 %).

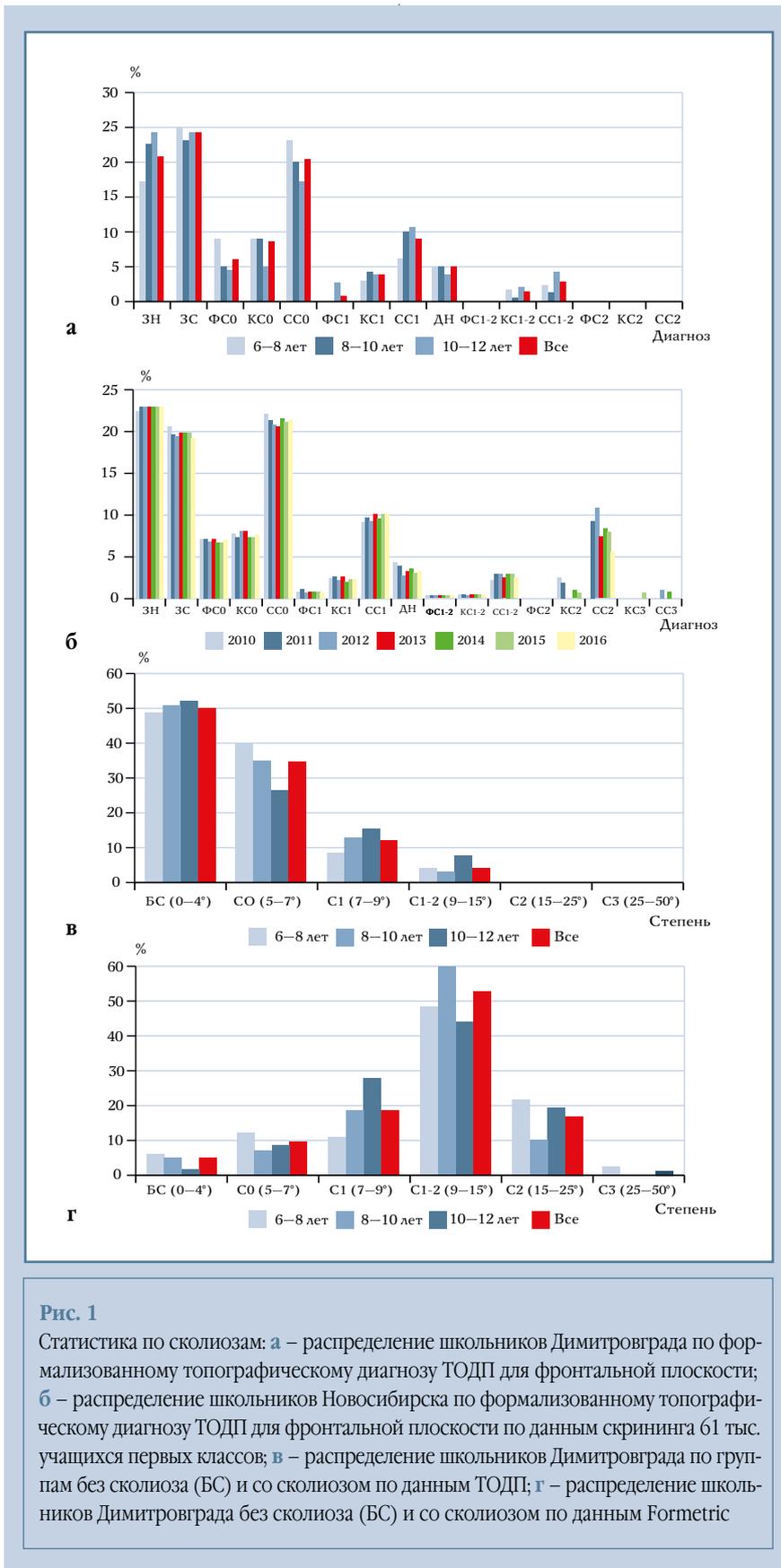
### Статистический анализ

Для статистической обработки и проведения графического анализа использовали программу Microsoft Excel, для которой данные обследования вводили через экспортную функцию WTOPO и вручную с экранных форм Formetric.

## Результаты

На рис. 1а представлено распределение обследованных по формализованному топографическому диагнозу ТОДП во фронтальной плоскости [24]. Для диагноза ТОДП в этой плоскости различают следующие состояния:

- без сколиоза – ЗН (осанка близкая к гармоничной), ЗС (субнорма, незначительные нарушения), ДН (другие нарушения, умеренные нарушения, связанные с перекосом таза, асимметрией лопаток, дисбалансом туловища и др.);
- функциональный сколиоз – ФС (одиночное боковое искривление линии остистых отростков без рота-

**Рис. 1**

Статистика по сколиозам: **а** – распределение школьников Дмитровграда по формализованному топографическому диагнозу ТОДП для фронтальной плоскости; **б** – распределение школьников Новосибирска по формализованному топографическому диагнозу ТОДП для фронтальной плоскости по данным скрининга 61 тыс. учащихся первых классов; **в** – распределение школьников Дмитровграда по группам без сколиоза (БС) и со сколиозом по данным ТОДП; **г** – распределение школьников Дмитровграда без сколиоза (БС) и со сколиозом по данным Formetric

ции на вершине дуги искривления и без согласованного с дугой перекоса таза);

- компенсаторный сколиоз – КС (одиночное боковое искривление линии остистых отростков без ротации или со слабо выраженной ротацией на вершине дуги искривления при наличии согласованного с дугой перекоса таза – перекокс в сторону выпуклости дуги);

- структуральный сколиоз – СС (одно или несколько боковых искривлений позвоночника с наличием ротации на вершине хотя бы у одного из них).

ФС, КС и СС по углу ЛА разделяются по степеням [24]:

- 5–7° – ФС0, КС0, СС0 (0–1-я степень, доклиническая форма, уровень субнормы);

- 7–9° – ФС1, КС1, СС1 (1-я степень, доклиническая форма, уровень умеренных нарушений);

- 9–15° – ФС1-2, КС1-2, СС1-2 (1–2-я степень, группа риска по сколиозу);

- 15–25° – ФС2, КС2, СС2 (2-я степень по уточненной классификации Чаклина);

- 25–50° – КС3, СС3 (3-я степень по классификации Чаклина);

- ≥50° – СС4 (4-я степень по классификации Чаклина).

На рис. 16 представлено распределение по формализованному диагнозу учащихся первых классов, построенное по данным программы скрининга школьников Новосибирска, действовавшей в 2010–2017 гг. Значения отсчетов графика для КС2, СС2, КС3 и СС3 увеличены в 100 раз, чтобы лучше можно было разглядеть наличие сколиоза 2-й и даже 3-й степени (средний размер выборки за год – более 8 тыс.). График (рис. 16) подтверждает, что выраженные сколиозы в младшем возрасте встречаются крайне редко. Сравнивая рис. 1а (6–8 лет) и рис. 1б, можно убедиться, что данные по Дмитровграду не имеют значимых отличий от данных по Новосибирску и представляют типичную для России картину.

У Formetric рассчитывается один угол сколиоза для основной дуги (с максимальным углом при наличии

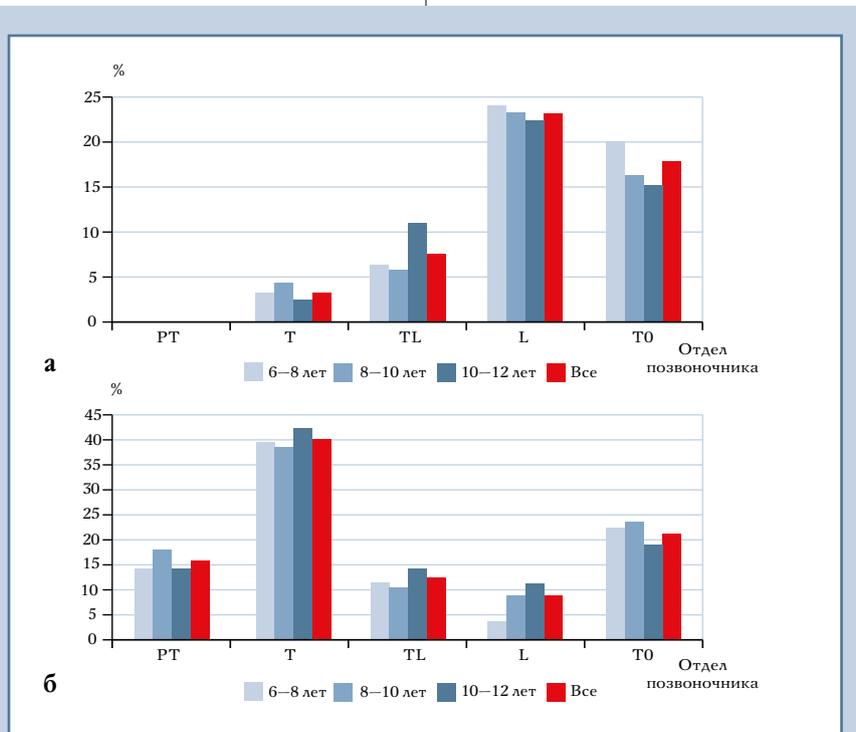
нескольких дуг), а сам сколиоз не дифференцируется на ФС, КС и СС. Поэтому для сопоставления статистик у ТОДП были объединены ЗН, ЗС и ДН в группу БС (без сколиоза), а сколиозы СФ, СК и СС – в группы по степеням: С0...С3. На рис. 1в для ТОДП и рис. 1г для Formetric приведены графики с полученной статистикой, которые демонстрируют значительные и противоположно направленные различия для двух топографов. У ТОДП (по столбцу «Все» – статистика без учета возраста) преобладают случаи без сколиоза (50,0 %), затем идут доклинические сколиозы С0 (33,8 %) и С1 (12,4 %), далее группа риска по сколиозу С1–2 (3,8 %), а сколиозы 2-й и 3-й степени не выявлены. У Formetric преобладает группа риска по сколиозу С1–2 (51,6 %), затем идут С1 (17,9 %), С2 (16,2 %) и С0 (9,3 %), а случаи без сколиоза встречаются

крайне редко (4,1 %, а в старшей группе – только 1,1 %). При этом в младшей группе выявлено 3 сколиоза 3-й степени. По возрастным группам клинически значимый сколиоз (9° и более) составил для ТОДП 3,7 %, 2,2 %, 6,6 %, (в среднем – 3,8 %) и для Formetric – 71,1 %, 70,1 %, 63,2 %, (в среднем – 68,7 %). Такая картина, полученная для Formetric, существенно отличается от статистики по распространенности сколиоза (10° и более), известной по результатам скрининга в разных странах (от 0,6 до 3,5 %) [21]. Полученная для ТОДП статистика по распространенности сколиоза соответствует известным из литературы данным, а Formetric демонстрирует гипердиагностику с 20-кратным превышением случаев выявленного сколиоза.

На рис. 2 представлено полученное по данным ТОДП и Formetric рас-

пределение основных дуг по отделам позвоночника, включая тотальную дугу. Термин «тотальная дуга» был введен известным швейцарским ортопедом Shulthess [25] в созданной им (первой известной из литературы) классификации сколиозов. Тотальная дуга не является структуральной, занимает большую часть позвоночного столба и встречается при функциональном и компенсаторном сколиозах. На графиках дуги обозначены в соответствии с классификацией сколиозов [26]. Приведенные графики демонстрируют значительное расхождение по локализации основных дуг для сравниваемых топографов: у ТОДП преобладают поясничные (более 20 %) и тотальные (более 15 %) дуги, а верхнегрудные дуги отсутствуют, а у Formetric преобладают грудные (около 40 %) и тотальные (более 20 %) и выявлено более 15 % верхнегрудных основных дуг, которые на практике встречаются крайне редко (в основном при врожденных формах сколиоза).

На рис. 3а представлен график, иллюстрирующий картину выявленных ТОДП и Formetric основных сколиотических дуг у всех обследованных, для каждого из которых выведен отсчет графика с заданным по оси ТОДП углом ЛА (усредненным по трем позам), а по оси Formetric – углом сколиоза. Сторона выпуклости сколиотических дуг задается знаками «+» для правосторонних и «-» для левосторонних дуг. Если бы соответствие между ЛА и углом сколиоза было хорошим, то отсчеты графика расположились бы вблизи диагонали, проведенной слева направо, снизу вверх через нулевую точку осей. Однако в нашем случае такой картины не наблюдается, что свидетельствует о значительном расхождении данных по выявленному сколиозу у ТОДП и Formetric. Это нашло отражение в очень слабой корреляции Пирсона для ЛА и угла сколиоза Formetric, которая для возрастных групп от младшей к старшей составила соответственно 0,163; 0,093; 0,123. У всех возрастных групп картина хаотичности приблизительно одина-



**Рис. 2**

Распределение основных дуг по отделам позвоночника (PT – верхнегрудная, дуга Т – грудная, TL – грудопоясничная, L – поясничная и То – тотальная дуга), представленное в процентах от обследованных школьников: **а** – по данным ТОДП; **б** – по данным Formetric

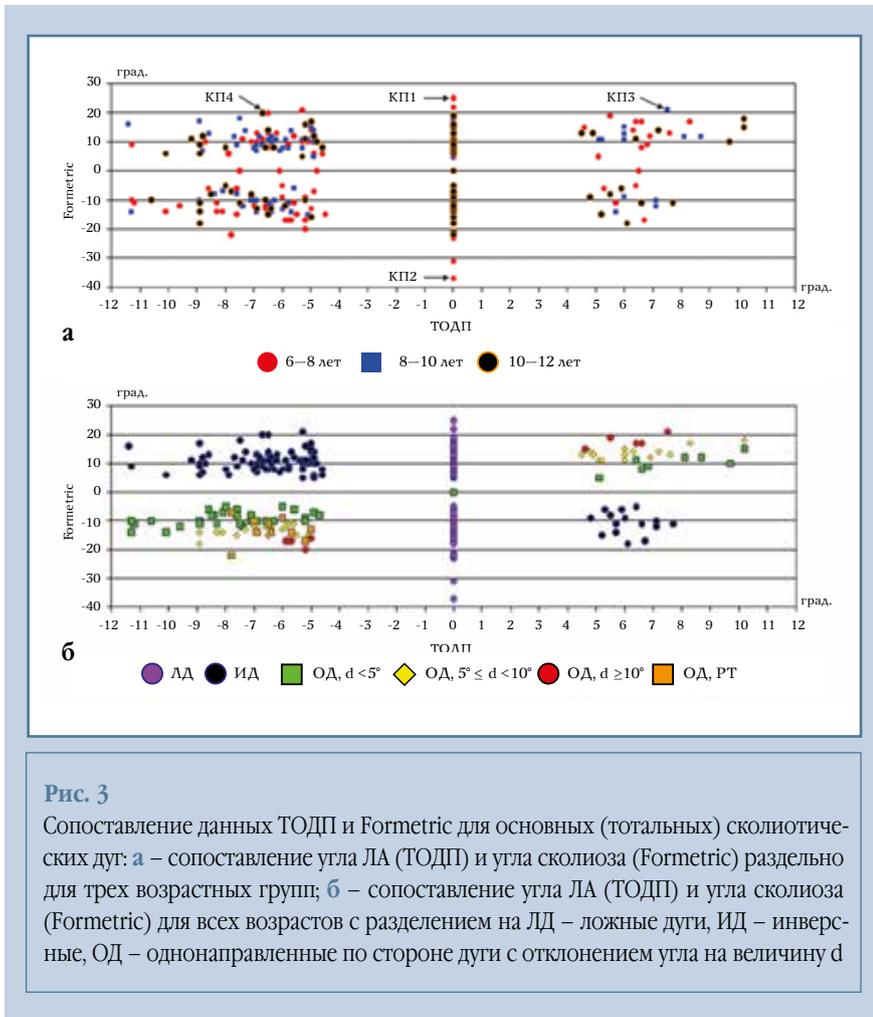


Рис. 3

Сопоставление данных ТОДП и Formetric для основных (тотальных) сколиотических дуг: **а** – сопоставление угла ЛА (ТОДП) и угла сколиоза (Formetric) раздельно для трех возрастных групп; **б** – сопоставление угла ЛА (ТОДП) и угла сколиоза (Formetric) для всех возрастов с разделением на ЛД – ложные дуги, ИД – инверсные, ОД – однонаправленные по стороне дуги с отклонением угла на величину  $d$

кова (только в группе «6–8 лет» наблюдается несколько больший разброс у Formetric). На рис. 3а стрелочками отмечены 4 школьника, обозначенные как КП1–КП4. Эти примеры приведены на рис. 4 и описаны в табл. 1.

На рис. 3б представлен такой же график, как на рис. 3а, но с осями, окрашенными (без учета возраста) по результату сопоставления сколиотических дуг Formetric с основными дугами ТОДП. Дуги Formetric разделены следующим образом: ЛД – ложные дуги (у ТОДП дуг нет, ЛА = 0), ИД – инверсные дуги (у ТОДП дуги направлены в одну сторону, а у Formetric – в другую, что является некорректным) и ОД – однонаправленные дуги (направление дуг совпадает, и дуга Formetric может быть корректной, если она несущественно отличается от ТОДП по углу и поло-

жению апекса). Дополнительно ОД разбиты на 3 части по абсолютной величине разности  $d$  между углами сколиоза и ЛА:  $d < 5^\circ$ ,  $5^\circ \leq d < 10^\circ$  и  $d \geq 10^\circ$ . Из ОД исключены дуги РТ как заведомо ложные. Следует отметить, что принадлежность дуг Formetric к ОД не означает их подлинную корректность по сравнению с ТОДП, так как в проведенном анализе не учитывалось положение апекса сравниваемых дуг. Поэтому какая-то часть дуг вполне может находиться в разных отделах позвоночника, что при постановке диагноза по сколиозу тоже будет некорректным. ОД с  $d < 5^\circ$ , окрашенные в зеленый цвет, могут рассматриваться как корректные (без учета совпадения положения апекса).

На рис. 4 представлены клинические примеры КП1–КП4, помеченные стрелочками на рис. 3а, в которых

выявлены максимальные расхождения диагноза по сколиозу между ТОДП и Formetric. Данные по этим примерам приведены в табл. 1. На рисунке каждого КП показано 5 картинок (в ряд слева направо): 3 – ТОДП, 2 – Formetric.

У ТОДП показаны следующие данные:

- фронтальная проекция модели позвоночника со значением угла ЛА, выведенным на уровне апекса найденных дуг (со знаком «+» для правосторонних и «-» для левосторонних дуг). На модели выведены тела позвонков, точками – их центры, а непрерывной линией – линия остистых отростков;

- модель туловища в виде паравертебральной асимметрии с телесным цветом для областей без асимметрии и с цветной окраской на стороне с превышением рельефа. Цвет окраски зависит от разности высоты рельефа в парных точках, расположенных на одной горизонтальной симметрично относительно линии остистых отростков (1,0–2,5 мм – серый, 2,5–5,0 мм – желтый, 5–10 мм – пурпурный, 10–20 мм – темно-красный и 20–40 мм – красный).

- модель туловища, окрашенная пропорционально суммарной (вертикальной и горизонтальной) кривизне поверхности, при этом синий цвет соответствует вогнутостям, красный – выпуклостям рельефа, а белый – нулю кривизны.

У Formetric приведены следующие данные:

- модель туловища, окрашенная пропорционально средней кривизне (среднее значение главной кривизны), где раскраска аналогична модели кривизны у ТОДП;

- фронтальная проекция модели позвоночника с углом сколиоза, расчерченным программой по позвонкам с максимальным наклоном. Углы сколиоза, выведенному на уровне апекса дуги, подобно углу ЛА, придан знак «+» для правосторонних и «-» для левосторонних дуг.

Суммарная кривизна ТОДП (3-я в ряду) и средняя кривизна Formetric (4-я в ряду) являются близкими ана-

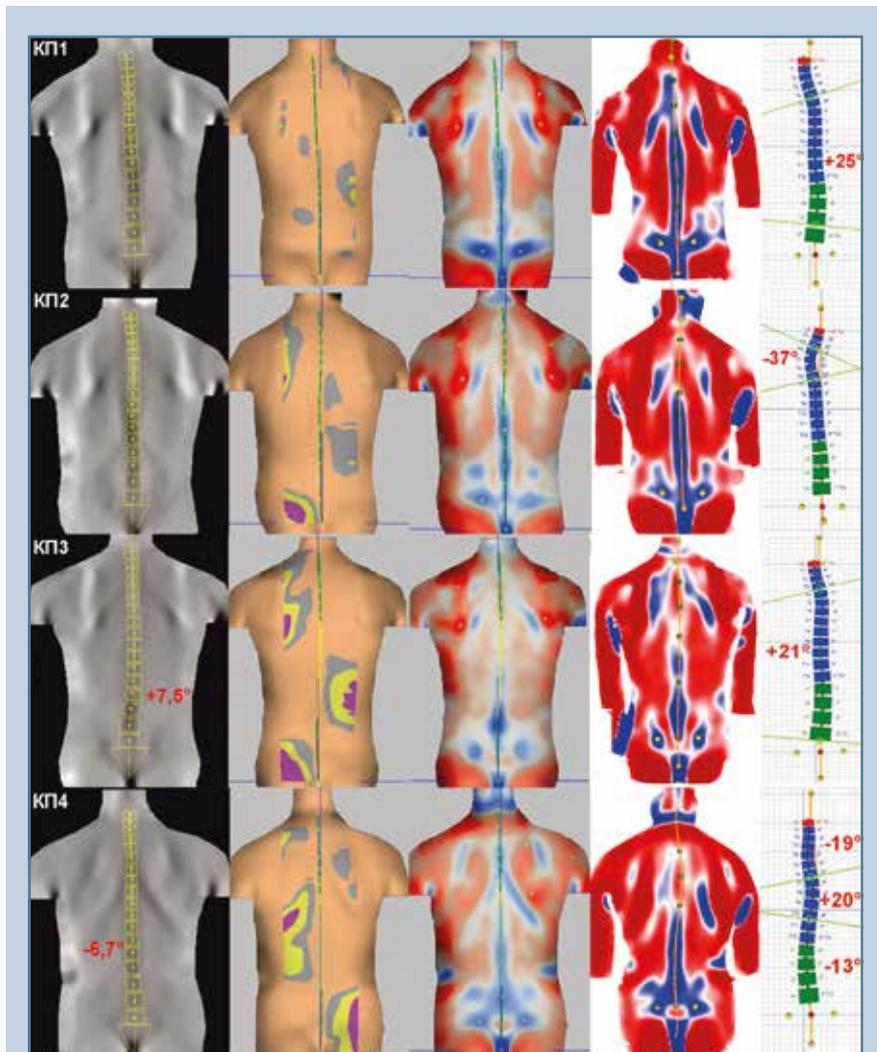


Рис. 4

Клинические примеры КП1–КП4, отмеченные на рис. 3а и имеющие максимальные расхождения по диагнозу сколиоза у ТОДП и Formetric, с приведенными в табл. 1 данными и описанием в тексте статьи

логами, что видно по их схожести у одних и тех же пациентов. Однако по двум топограммам можно заметить существенную разницу по детализации (пространственному разрешению) и диапазону (наличию полутонов) кривизны. Это наглядно иллюстрирует наше утверждение, что по качеству восстановленной 3D-модели туловища ТОДП существенно превосходит Formetric. По нашему мнению, в этом состоит основная причина некорректного построения модели позвоночника (5-я в ряду) по дан-

ным Formetric и, как следствие, – грубые ошибки в оценке угла сколиоза. Для КП1 и КП2 при отсутствии сколиоза по данным ТОДП у Formetric выявлен сколиоз 3-й степени (соответственно +25° и -37°).

В табл. 1, помимо КП1–КП4, приведено описание КП5–КП18 – всех клинически значимых сколиозов (9–15°), выявленных по данным ТОДП. В 4-м столбце таблицы приведен диагноз во фронтальной плоскости (описанный в разделе «Результаты»). В 5-м столбце указан тип сколиоза по клас-

сификации [26], в соответствии с которой в обозначении сколиоза первое поле (буква, R или L) описывает сторону основной дуги; второе поле (цифра, 1–4) – число сколиотических дуг; последующие поля (1–4) описывают локализацию дуг по отделам позвоночника (РТ – верхнегрудная, Т – грудная, ТЛ – грудопоясничная, L – поясничная, То – тотальная). При наличии двух и более дуг прописными обозначаются основные дуги (1 и более, например КП8), а строчными – второстепенные дуги (КП6). В 6-м столбце указан угол ЛА основной дуги. В 7-м столбце указана степень по углу сколиоза Formetric (без разделения на структуральный или компенсаторный сколиоз), в 8-м – тип сколиоза по классификации [26] с учетом дополнительно расчерченных дуг по модели позвоночника, в 9-м – значение угла сколиоза Formetric, выдаваемого программой, в 10-м – знаками «+» или «-» описывается сторона выпуклости (слева – ТОДП и справа – Formetric), в 11-м – смещение апекса на число позвонков у Formetric относительно ТОДП (знак «+» соответствует смещению вверх, а знак «-» – вниз), в 12-м – расхождение в степени сколиоза (по шкале C0, C1, C1–2, C2 и C3) в большую («+») или меньшую («-») сторону.

В крайнем правом столбце «Оценка соответствия» в таблице приводится оценка совпадения выявленной Formetric дуги сколиоза и основной дуги ТОДП. Возможные варианты оценки: ЛД – ложно выявленная дуга; ИД – инверсная дуга (не совпадающая по стороне выпуклости); «-» – слабое совпадение; «+-» – частичное совпадение; «++» – полное совпадение.

Используя эту оценку, можно определить достоверность диагностики сколиоза у Formetric по сравнению с ТОДП. Для структуральных сколиозов СС1–2 (КП5–КП13) имеем следующее: «ИД» – 3 (33 %) случая; «-» – 1 (11 %); «+-» – 3 (33 %); «++» – 2 (22 %), то есть в 55 % случаев имеем полное или частичное совпадение. Для КП5, КП8 и КП11 имеем инверсные дуги, что позволяет рассматривать

Таблица 1

Описание клинических примеров КП1–КП4 (рис. 4) и КП5–КП18 – клинически значимых сколиозов, выявленных на ТОДП

Пациенты	Пол	Возраст, лет	ТОДП			Formetric			Соответствие ТОДП и Formetric			
			диагноз ФП	тип сколиоза	угол основной дуги, град.	степень сколиоза	тип сколиоза	угол основной дуги, град.	сторона	уровень апекса	степень	оценка соответствия
КП1	ж	7,5	ЗС	–	0,0	С3	R-1_То*	+25	–	–	+5	ЛД
КП2	м	7,3	ЗН	–	0,0	С3	L-1_РТ*	-37	–	–	+5	ЛД
КП3	ж	8,6	СС1	R-1_TL	+7,5	С2	R-1_То*	+21	++	+3	+2	--
КП4	м	10,4	СС0	L-1_TL	-6,7	С2	R-3_РТ_T_1*	+20	+	+5	+3	ИД
КП5	м	6,9	СС1–2	L-1_L	-11,3	С1–2	R-1_T*	+9	+	+7	0	ИД
КП6	м	7,0	СС1–2	L-2_t_L	-9,9	С1–2	L-2_T_tl	-12	--	+8	0	--
КП7	м	7,6	СС1–2	L-1_L	-11,2	С1–2	L-1_T	-11	--	+7	0	+-
КП8	ж	9,5	СС1–2	L-2_T_L	-11,4	С2	R-1_То*	+16	+	+6	+1	ИД
КП9	ж	9,6	СС1–2	R-1_T	+12,9	С1–2	R-1_T	+11	++	-1	0	++
КП10	ж	10,0	СС1–2	R-1_T	+10,6	С2	R-1_То*	+18	++	-1	+1	+-
КП11	ж	10,1	СС1–2	L-1_L	-10,2	С1–2	R-1_То*	+11	+	+6	0	ИД
КП12	ж	13,4	СС1–2	R-1_TL	+10,2	С2	R-1_L	+15	++	-2	+1	+-
КП13	ж	15,0	СС1–2	R-1_TL	+9,9	С1–2	R-1_L	+10	++	-2	0	++
КП14	ж	7,1	КС1–2	L-1_То	-11,3	С1–2	L-1_T	-10	--	+3	0	++
КП15	ж	7,1	КС1–2	L-1_То	-10,1	С1–2	L-1_То	-14	--	0	0	++
КП16	ж	12,3	КС1–2	L-1_То	-11,1	С1–2	L-1_То	-14	--	+2	0	++
КП17	ж	15,9	КС1–2	L-1_L	-10,8	С0	R-1_L	+6	+	+1	-2	ИД
КП18	ж	15,9	КС1–2	L-1_L	-10,6	С1–2	L-1_T	-10	--	+7	0	+-

\* Модель позвоночника, построенная по данным Formetric, не соответствует форме дорсальной поверхности туловища, восстановленной по данным ТОДП; диагноз ФП – формализованный диагноз ТОДП для фронтальной плоскости; тип сколиоза – устанавливаемый автоматически тип сколиоза по классификации [26], используемый в ТОДП (например, L-1\_L – С-образный левосторонний поясничный сколиоз или L-2\_t\_L – S-образный сколиоз с основной левосторонней поясничной дугой и правосторонней второстепенной грудной дугой); угол основной дуги (ТОДП) – усредненный по трем позам угол основной дуги; степень сколиоза – установленная по углу сколиоза Formetric степень в соответствии с формализованным диагнозом ТОДП (без разделения на ФС, КС и СС); тип сколиоза – установленный по фронтальной проекции модели позвоночника Formetric тип сколиоза по классификации [26]; угол основной дуги – угол сколиоза; сторона: «++», «--» – однонаправленные (две правосторонние или левосторонние дуги), «-+» или «+-» – инверсные дуги (ТОДП – левосторонняя, Formetric правосторонняя или наоборот); уровень апекса – смещение апекса дуги Formetric относительно ТОДП на число позвонков со знаком «+» при смещении вверх и «-» – при смещении вниз; степень – различие в степени сколиоза по формализованному диагнозу ТОДП, «+» – завышение степени, «-» – занижение степени; оценка соответствия – определение совпадения выявленной дуги Formetric для угла сколиоза и основной дуги ТОДП: ЛД – ложно выявленная дуга, ИД – инверсная дуга (не совпадающая по стороне выпуклости), «--» – слабое совпадение, «+-» – частичное совпадение, «++» – хорошее совпадение.

диагноз Formetric как некорректный, а у КП6 при наличии однонаправленных основных дуг имеется слабое совпадение по диагнозу из-за разного типа выявленных сколиозов: ТОДП – L-2\_t\_L и Formetric – L-2\_T\_tl, то есть в том и другом случаях имеем левосторонний S-образный сколиоз, но у ТОДП основная дуга поясничная (-9,9°), а у Formetric основная дуга грудная (-12,0°) и ее апекс смещен на 8 позвонков относительно основной поясничной дуги ТОДП. Поэтому в данном случае вряд ли допустимо считать диагноз Formetric корректным. Для сколиозов КС1–2

(КП14–КП18) имеем следующее: «ИД» – 1 (20 %); «--» – 0 (0 %); «+-» – 1 (20 %); «++» – 3 (60 %), то есть в 80 % случаев имеем полное или частичное совпадение, в 20 % (КП17) имеем ложноотрицательный результат, то есть пропуск клинически значимого сколиоза.

### Обсуждение

Результаты исследования свидетельствуют не только о далекой от клинической практики статистике выявленных на Formetric сколиозов, но и атипичной локализации основных дуг.

Так, из литературы по идиопатическим сколиозам хорошо известно, что верхнегрудные (РТ) дуги встречаются только в виде противогнутого искривления для основной грудной дуги, дуга РТ может быть основной только для врожденных сколиозов, что случается крайне редко. Поэтому все случаи с дугами РТ без сомнений можно отнести к ложно выявленным сколиозам. Грудных дуг Т, по данным ТОДП, выявлено только 3 %, по данным Formetric – около 40 %, что также свидетельствует о ложном выявлении большинства

из них. Грудной отдел позвоночника более устойчив к боковому искривлению из-за наличия ребер. С точки зрения прогрессирования дуги Т самые опасные и их просто не может быть столь много в допубертативном возрасте. По ТL дугам имеются небольшие различия: у ТОДП – 7,4 %, Formetric – 12,3 %. Для поясничного отдела, по данным ТОДП, выявлено максимальное число дуг (23 %), а по данным Formetric – их число минимально (8,8 %) среди других отделов, что также не соответствует клинической картине сколиоза. Хорошо известно, что из-за большей мобильности поясничного отдела, связанной с отсутствием ребер, именно L дуги встречаются чаще других. Для тотальных дуг больших различий между ТОДП (17,3 %) и Formetric (21,7 %) не найдено. Таким образом, распределение выявленных Formetric сколиотических дуг по отделам позвоночника по сравнению с ТОДП выглядит неестественным и несоответствующим клинической практике.

Полученные результаты свидетельствуют о слабой пригодности топографа Formetric для скрининга сколиоза у школьников, что подтверждается данными наших коллег из Белоруссии [22], которые обследовали на топографе Diers Formetric 252 школьника 6–16 лет (114 мальчиков и 138 девочек) и выявили 180 (71,4 %) случаев сколиотической осанки и 37 (14,8 %) случаев сколиоза, что в целом составляет 86,2 % (что подтверждает гипердиагностику).

Выявленные на топографе Formetric пациенты с клинически значимыми сколиозами (29 школьников, 11,5 % от числа обследованных) были направлены на рентгенологическое обследование. Получены следующие результаты (по классификации, используемой в Республике Беларусь):

- сколиоз не подтвержден – 14 (48,3 %);
- сколиоз 1-й степени (от 5 до 10°) – 12 (41,4 %);
- сколиоз 2-й степени (от 10 до 25°) – 2 (6,9 %);
- сколиоз 3-й степени (от 25 до 45°) – 1 (3,4 %).

Следовательно, только у 3 (10,3 %) из 29 направленных на рентгенологический контроль пациентов подтвержден клинически значимый сколиоз, а 26 (89,7 %) по результатам некорректного выявления сколиоза на Formetric направлены на дополнительное исследование ошибочно. В этой же работе описаны данные рентгенологического обследования методом Formetric шести детей, проходивших реабилитацию. С использованием этих данных и классификации сколиоза [26] проведено сравнение данных Formetric с рентгенографией (табл. 2). По данным Formetric, у одного пациента найдена ложная дуга 16° (отсутствует на рентгенограмме), у трех – дуга оказалась инверсной (то есть разной направленности), у двух – однонаправленные Formetric и рентгенографические дуги различались на 2 степени (разница в углах

4°, отнесен к варианту «полное совпадение») и 3 степени (разница в углах 25°, отнесен к варианту «слабое совпадение»). Следовательно, только в одном из шести случаев топограф Formetric обеспечил сопоставимую диагностику сколиоза по сравнению с рентгеном. Следует обратить внимание, что средний угол сколиоза Formetric составил 19,2°, а Cobb – 10,4°, то есть для начальных форм сколиоза угол Formetric дал завышенную оценку по сравнению с рентгеном, что отличается от данных Frerich и Bassani [16, 17], у которых для клинически значимых сколиозов угол Formetric давал заниженную оценку по сравнению с углом Cobb.

Проведенное исследование и анализ позволяют сделать вывод о том, что топограф Formetric не может быть рекомендован для скрининга школьников, так как не обеспечивает точной диагностики начальных форм сколиоза и дает гипердиагностику сколиоза у здоровых детей. Наш вывод согласуется с мнением Weiss [27], использующим Formetric с 1995 г.: «Видеоастровая стереография кажется полезной для научных исследований. Однако пределы технических погрешностей слишком велики, чтобы делать выводы в индивидуальном случае, особенно по пациентам со сколиозом».

## Заключение

По результатам топографического скрининга 364 школьников Димитров-

Таблица 2

Сравнение данных рентгенологического обследования и Formetric по 6 пациентам [22]

Пациенты	Рентгенологическое обследование			Formetric			Соответствие рентгена и Formetric		
	тип сколиоза	степень сколиоза	угол Cobb, град.	тип сколиоза	степень сколиоза	угол сколиоза, град.	сторона	степень сколиоза	оценка соответствия
1	–	–	–	L-1_T	C2	-16	-	-	ЛД
2	L-1_TL	C1	-7	R-1_TL	C2	+18	-+	+2	ИД
3	L-1_TL	C0	-6	L-1_T	C1–2	-10	--	+2	++
4	L-1_TL	C1	-8	R-2_T_1	C2	+22/-12	-+	+2	ИД
5	L-2_t_L	C1–2	+6/-13	R-1_TL	C1–2	+13	-+	0	ИД
6	L-1_TL	C1	-8	L-1_TL	C3	-33	--	+3	--

Обозначения в табл. 2 соответствуют обозначениям в табл. 1.

града на топографе ТОДП выявлено 3,8 % сколиозов 9° и более, что соответствует средним данным по скринингу в ряде стран мира. По результатам обследования на топографе Formetric у тех же школьников выявлено 68,7 % сколиозов 9° и более, что позволяет судить о гипердиагностике и сделать вывод о слабой пригодности Formetric для топо-

графического скрининга сколиоза у школьников.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Потенциальный конфликт интересов: В.Н. Сарнадский является автором метода компьютерной оптической топографии и генеральным директором и учредителем ООО «МЕТОС», производителя топографа*

*ТОДП. Д.Ю. Баторов и О.А. Щучкина являются пользователями системы Formetric и применяют ее в своей клинической практике на протяжении ряда лет.*

*Проведение исследования одобрено локальными этическими комитетами учреждений.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

1. Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск, 2011. [Mikhailovsky MV, Fomichev NG. Surgery of Spinal Deformities. Novosibirsk, 2011].
2. Lonstein JE. Screening for spinal deformities in Minnesota schools. Clin Orthop Relat Res. 1977;(126):33–42.
3. Takasaki H. Moire topography. Appl Opt. 1970;9:1467–1472. DOI: 10.1364/AO.9.001467.
4. Grivas TB, Wade MH, Negrini S, O'Brien JP, Maruyama T, Hawes MC, Rigo M, Weiss HR, Kotwicki T, Vasiladis ES, Sulam LN, Neuhaus T. SOSORT consensus paper: school screening for scoliosis. Where are we today? Scoliosis. 2007;2:17. DOI: 10.1186/1748-7161-2-17.
5. Turner-Smith AR. Television scanning technique for topographic body measurements. Biostereometrics'82: Proc. SPIE. 1983;361:279–283.
6. Pearson JD, Dangerfield PH, Atkinson JT, Gomm JB, Dorgan JC, Hobson CA, Harvey DM. Measurement of body surface topography using an automated imaging system. Acta Orthop Belg. 1992;58 Suppl 1:73–79.
7. Wojcik AS, Phillips GF, Mehta MH. Recording of the back surface and spinal shape by the Quantec imaging system – a new technique the scoliosis clinic. J Bone Joint Surg Br. 1994;76 Suppl 1:10–11.
8. Drerup B, Hierholzer E. Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1994;9:28–36. DOI: 10.1016/0268-0033(94)90055-8.
9. Евразийский патент № 000111. Способ компьютерной оптической топографии тела человека и устройства для его осуществления // Сарнадский В.Н., Садовой М.А., Фомичев Н.Г. А61В 5/103 № 199600068; заявл. 26.08.96; опубл. 27.08.1998, Бюл. № 4. [Sarnadsky VN, Sadovoy MA, Fomichev NG. Method of computer optical topography of the human body and device for its implementation. EUR Patent 000111, appl. 26.08.1996; publ. 27.08.1998. Bull. 4].
10. Batouche M, Benlamri R, Kholadi MK. A computer vision system for diagnosing scoliosis using moire images. Comput Biol Med. 1996;26:33–53. DOI: 10.1016/0010-4825(96)00014-5.
11. Hill DL, Berg DC, Raso VJ, Lou E, Durdle NG, Mahood JK, Moreau MJ. Evaluation of a laser scanner for surface topography. Stud Health Technol Inform. 2002;88:90–94.
12. Treuillet S, Lucas Y, Crepin G, Peuchot B, Pichaud JC. SYDESCO: a laser-video scanner for 3D scoliosis evaluations. Stud Health Technol Inform. 2002;88:70–73.
13. Turner-Smith AR, Harris JD, Houghton GR, Jefferson RJ. A method for analysis of back shape in scoliosis. J Biomech. 1988;21:497–509. DOI: 10.1016/0021-9290(88)90242-4.
14. Frobin W, Hierholzer E. Video rasterstereography: a method for on-line measurement of body surfaces. Photogramm Eng Remote Sensing. 1991;57:1341–1345.
15. Drerup B, Hierholzer E. First experiences with clinical application of video rasterstereography. In: Surface Topography and Spinal Deformity, ed. by Alberti A, Drerup B, Hierholzer E. 1992;6:202–208.
16. Frerich JM, Hertzler K, Knott P, Mardjetko S. Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis. Open Orthop J 2012;6:261–265. DOI: 10.2174/1874325001206010261.
17. Bassani T, Stucovitz E, Galbuser F, Brayda Bruno M. Is rasterstereography a valid noninvasive method for the screening of juvenile and adolescent idiopathic scoliosis? Eur Spine J. 2019;28:526–535. DOI: 10.1007/s00586-018-05876-0.
18. Балдова С.Н. Клинико-нейрофизиологическая характеристика идиопатического сколиоза у детей: дис. ... канд. мед. наук. Н. Новгород, 2009. [Baldova SN. Clinical and neurophysiological profile of idiopathic scoliosis in children: Extended abstract of MD/PhD Thesis. Nizhny Novgorod, 2009].
19. Багриновская И.Л. Сопоставимость оценки углов сколиотической деформации позвоночника начальных стадий по данным рентгена и компьютерной оптической топографии // Хирургия позвоночника. 2014. № 3. С. 32–37. [Bagrinovskaya IL. Comparability study of the X-ray and computer optical topography estimates of spinal deformity angles at early scoliosis stages. Hir. Pozvonoc. 2014;(3):32–37]. DOI: 10.14531/ss2014.3.32-37.
20. Сарнадский В.Н. Компьютерная оптическая топография. Расширение диапазона достоверной диагностики идиопатического сколиоза углом латеральной асимметрии системы ТОДП // Вестник Всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. 2015. № 1 (59). С. 26. [Sarnadsky VN. Computer optical topography. Expanding the range of reliable diagnosis of idiopathic scoliosis by means of the angle of lateral asymmetry of the TODP system. Bulletin of the All-Russian Guild of Orthopedic Prosthetists. 2015;(1):26].
21. Сарнадский В.Н., Михайловский М.В., Садовая Т.Н., Орлова Т.Н., Кузнецов С.Б. Распространенность структурального сколиоза среди школьников Новосибирска по данным компьютерной оптической топографии // Бюллетень сибирской медицины. 2017. Т. 16. № 1. С. 80–91. [Sarnadsky VN, Mikhaylovskiy MV, Sadovaya TN, Orlova TN, Kuznetsov SB. Prevalence rate of structural scoliosis in school children of Novosibirsk according to the computed optical topography data. Bulletin of Siberian Medicine. 2017;16(1):80–91]. DOI: 10.20538/1682-0363-2017-1-80-91.
22. Цуканов А.Н., Валетко А.А., Малков А.Б., Зайцева Е.Ю., Николаев В.И., Чарнаштан Д.В. Использование оптического компьютерного топографа (Diers Formetric) в ранней диагностике деформаций позвоночника и стоп у детей // Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике. М-лы междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 2015. С. 171–172. [Tsukanov AN, Valetko AA, Malkov AB, Zaitseva EYu, Nikolaev VI, Charnashtan DV. The use of optical computed tomography (Diers Formetric) in the early diagnosis of spinal and foot deformities

- in children. In: Modern Problems of Radiation Medicine: from Science to Practice. Materials of the international scientific-practical Conference, Gomel, 2015:171–172].
23. **Sarnadskiy VN, Fomichev NG, Mikhailovskiy MV.** Use of functional tests to increase the efficiency of scoliosis screening diagnosis by COMOT method. *Stud Health Technol Inform.* 2002;91:204–210.
  24. **Sarnadskiy VN.** Classification of postural disorders and spinal deformities in the three dimensions according to computer optical topography. *Stud Health Technol Inform.* 2012;176:159–163.
  25. **Schulthess W.** The pathology and treatment of the spine. In: Joachimsthal Handbook of Orthopedic Surgery. Berlin: Gustav Fischer, 1905–1907.
  26. **Сарнадский В.Н., Михайловский М.В.** Формализованная классификация сколиоза по типу структуральности дуг, их числу и локализации по данным КОМОТ // Достижения российской травматологии и ортопедии: М-лы XI Всероссийского съезда травматологов-ортопедов. Санкт-Петербург, 2018. Т. 1. С. 303–307. [Sarnadsky VN, Mikhaylovskiy MV. Formalized classification of scoliosis according to the type of curve structurality, quantity and localization according to COMOT findings. In: Achievements of Russian Traumatology and Orthopedics: Materials of the XI All-Russian Congress of Traumatologists and Orthopedists. Saint Petersburg, 2018;1:303–307].
  27. **Weiss HR.** Conservative treatment effects on spinal deformities revealed by surface topography – a critical review of literature. *Scoliosis.* 2009;4 Suppl 1:O17.

**Адрес для переписки:**

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

**Address correspondence to:**

Sarnadskiy Vladimir Nikolaevich  
Medical topographic systems «METOS»,  
31 Krylova str., office 54, Novosibirsk, 630091, Russia,  
metos.org@gmail.com

*Статья поступила в редакцию 03.02.2022*

*Рецензирование пройдено 09.01.2023*

*Подписано в печать 13.01.2023*

*Received 03.02.2022*

*Review completed 09.01.2023*

*Passed for printing 13.01.2023*

*Владимир Николаевич Сарнадский, канд. тех. наук, генеральный директор ООО «Медицинские топографические системы «МЕТОС», Россия, 630091, Новосибирск, ул. Крылова, 31, оф. 54, ORCID: 0000-0003-2514-7378, metos.org@gmail.com;*

*Дмитрий Юрьевич Баторов, врач-ортопед, главный врач, ООО «Поликлиника Гиппократ», Россия, 433513, Дмитровград, пр. Автостроителей, 55б, ORCID: 0000-0002-6128-6394, gippokrat-dd@yandex.ru;*

*Ольга Александровна Щучкина, врач-ортопед, ООО «Поликлиника Гиппократ», Россия, 433513, Дмитровград, пр. Автостроителей, 55б, ORCID: 0000-0003-3935-7480, gippokrat-dd@yandex.ru.*

*Vladimir Nikolaevich Sarnadskiy, PhD in Technical Sciences, General Director of the LLC "Medical topographic systems "METOS", 31 Krylova str., office 54, Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0003-2514-7378, metos.org@gmail.com;*

*Dmitry Yuryevich Batorov, orthopedist, chief physician, Hippocrates Polyclinic LLC, 55b Aviastroitelei prospect, Dimitrougrad, 433513, Russia, ORCID: 0000-0002-6128-6394, gippokrat-dd@yandex.ru;*

*Olga Aleksandrovna Shchubchkina, orthopedist, Polyclinic Hippocrates LLC, 55b Aviastroitelei prospect, Dimitrougrad, 433513, Russia, ORCID: 0000-0003-3935-7480, gippokrat-dd@yandex.ru.*