

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА

© 2024 И.Д. Шитоев^{1,2}, С.В. Муравьев³, В.Н. Никитин^{1,2}, А.Д. Пастухов⁴

¹ *Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

² *Общество с ограниченной ответственностью «Йорд Тех»*

³ *Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера*

⁴ *Городская клиническая больница № 2 им. Ф. Х. Граля*

Аннотация. Современные тенденции в медицине заключаются в применении современных цифровых технологий, предполагающих получение и анализ трехмерных объектов (органов, костей и поверхности тела). Для анализа деформации позвоночника применяются рентгенологические методы исследования, являющиеся золотым стандартом в современной медицине. В данной статье проводится сравнительная оценка репрезентативности рентгенографического и фотограмметрического методов диагностики деформации позвоночного столба. В основе фотограмметрического метода лежит анализ поверхности спины, полученной при помощи камеры мобильного телефона и установленной программы ScoView[®]. В качестве испытуемых выступили четверо добровольцев мужского пола в возрасте от 29 до 42 л. (35,5±4,61 л.). Проведенная сравнительная оценка репрезентативности рентгенографического и фотограмметрического методов диагностики деформации позвоночного столба на основе анализа данных 4 добровольцев показала, что отклонение кривых, полученных рентгенографическим и фотограмметрическим методами исследования позвоночника в боковой и сагиттальной проекциях, не превышает 5% по отношению к высоте позвоночного столба. Соответственно, фотограмметрический метод, являясь безопасным и удобным методом диагностики, может стать методом превентивной оценки деформации позвоночника, дополняющим данными состояния позвоночника между плановыми рентгенологическими исследованиями

Ключевые слова: сколиоз, рентгенологическое исследование, фотограмметрия, позвоночник, сравнительная оценка

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития медицинских технологий реализуют сразу несколько трендов развития науки и техники в целом. Ведущим трендом развития здравоохранения в нашей стране в последние десятилетия стала цифровизация [1] – повсеместное внедрение цифровых технологий в лечебно-диагностический и профилактический процесс. Не менее значимый процесс эволюции отечественной медицины – тренд «интернета вещей» [2] – развитие экосистем телемедицинских помощников вкупе с технологиями телемедицины [3]. Бесспорно, эти тренды возникли на фундаменте развития глобальных технологий – искусственного интеллекта [4], Big Data [5], компьютерного зрения [6]. Однако в то же время технологический прорыв в процессе здоровьесбережения гармонично аккомпанирует другому, более привычному в медицине принципу «не навреди» [7], который в реалиях современности определяется нивелированием тех неблагоприятных факторов лечебно-диагностического процесса, которые могут быть исключены из него, без снижения эффек-

тивности процессов лечения и диагностики. Типичным примером такого явления является поиск альтернативного [8] рентгенографическому методу исследования позвоночника, не связанного с перспективным облучением. Пионером в этой области стала муаровая топография [9], которая в процессе научно-технического прогресса, положила начало компьютерной оптической топографии (КомОТ, КОТ, ООО «МЕТОС», г. Новосибирск) [10] или растровой стереографии (DIERS International GmbH, Schlangenbad, Germany) [11]. На протяжении последнего полувека эти методы демонстрировали свою точность и эффективность в сравнении с «золотым стандартом» диагностики деформаций позвоночника – рентгенографии [12, 13].

В то же время развитие современной медицинской практики связано с неизбежными интервенциями новых методов диагностики, из, на первый взгляд, дистанцированных областей знаний. Также и в проблеме оценки параметров рельефа поверхности живых объектов внедряются методы фотограмметрии, которые на этапе своего появления широко использовались в

геодезии, метеорологии и музеологии [14, 15], однако сейчас активно интегрируются в широкий ассортимент отраслей медицинской науки – от судебной медицины [16] до травматологии и ортопедии. Именно в области детской вертебрологии первым инструментом оценки параметров деформации позвоночного столба методом фотограмметрии стало разработанное авторами программного обеспечения ScolView[©] для персонального телекоммуникационного устройства (смартфона), об алгоритмах функционирования которого авторы писали ранее [17]. Материал настоящей статьи посвящен аналогичному сравнению выходных данных ScolView[©] с результатами рентгенографического метода исследования.

ЦЕЛЬ

Оценить репрезентативность метода фотограмметрии в оценке основных параметров деформации позвоночного столба в трех плоскостях на основе сравнения с результатами рентгенологического исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве испытуемых выступили четверо добровольцев мужского пола в возрасте от 29 до 42 л. (35,5±4,61 л.). Для обезличивания результатов исследования таковые были номинально обозначены литерами К, Н, Ч, Ш. На момент проведения исследования испытуемые не предъявляли активных жалоб. До проведения исследования от всех испытуемых было получено информированное согласие на медицинское вмешательство.

В качестве эталонного метода всем испытуемым была проведена рентгенография позвоночного столба в прямой и боковой проекции (Паритет-Рентген Millennium, ООО «Паритет-Рентген», г. Ярославль). Рентгенографию проводили путем последовательно смещения рентгеновской трубки по направлению вверх-вниз, без поворота тела испытуемого при съемке в одной и той же проекции для нивелирования погрешностей съемки (по схеме: грудной отдел, прямая проекция → поясничный отдел, прямая проекция → грудной отдел, боковая проекция → грудной отдел, боковая проекция). Эффективная эквивалентная доза облучения на каждого испытуемого составила 2,6 мЗв.

В качестве предмета оценки в настоящем исследовании всем испытуемым была проведена фотограмметрия поверхности спины при помощи программного обеспечения ScolView[©], по результатам которой было получено трех-

мерное изображение поверхности спины туловища испытуемых.

Для оценки репрезентативности метода фотограмметрии был осуществлен комплекс манипуляций и расчетов с выходными данными – изображениями и объективными значениями, полученными методами рентгенографии и фотограмметрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выходные данные рентгенографии и фотограмметрии были обработаны в несколько этапов, подробное описание которых представлено ниже.

Этап 1. Обработка рентгенограммы.

1.1. Компиляция цифровых рентгенограмм. Цифровые снимки, полученные при выполнении рентгенографии грудного и поясничного отделов позвоночника, были совмещены в «ручном режиме» в среде графического редактора. В качестве ориентиров для компиляции снимков использовались костные и мягкотканые образования (например, тела позвонков, синусы плевры и др.). Результатом этой манипуляции стал набор из двух снимков всего позвоночного столба – в прямой и боковой проекции – для каждого испытуемого. Актуальность такой манипуляции лежит в технологическом ограничении использованного рентген-аппарата – невозможности выполнения обзорного снимка всего позвоночного столба для взрослых испытуемых. Пример выполнения компиляции цифровых рентгенограмм представлен на рис. 1.

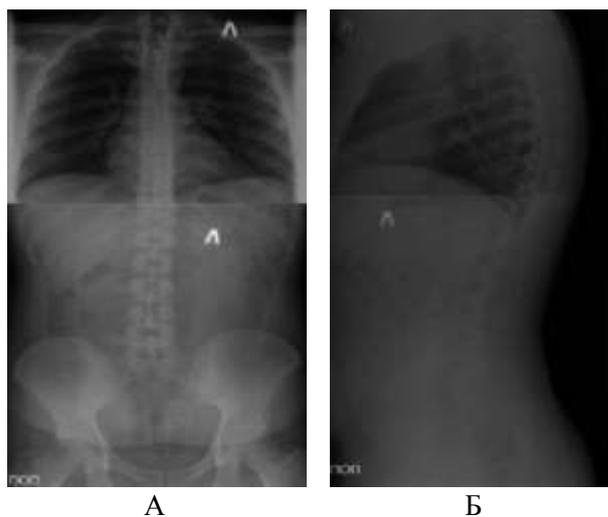


Рис. 1. Компиляция цифровых рентгенограмм испытуемого Ш. Прямая (А) и боковая (Б) проекция

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ...

1.2. Выделение «линии позвоночника». Полученные в результате компиляции рентгенограммы были вновь обработаны с использованием графического редактора. На каждой из рентгенограмм были объединены вершины остистых отростков кривой. Такая кривая является логически более близким объектом к термину «линия позвоночника», использованным нами при разработке фотограмметрического метода оценки деформации позвоночного столба в программе ScolView[®].

Кроме выделения «линии позвоночника» компилированные рентгенограммы для унификации подхода к последующим этапам оценки репрезентативности были резецированы так, чтобы на полученном изображении «линия позвоночника» продолжалась от основания крестца до верхнего края скомпилированной рентгенограммы. Пример выделения и резекции «линии позвоночника» представлен на рис. 2.

1.3. Стратификация «линии позвоночника». Цифровые рентгенограммы с выделенной «линией» позвоночника и резецированные со-

гласно п. 1.2 при помощи инструментов графического редактора были очищены от фонового изображения для осуществления дальнейших расчетов и манипуляций. Кроме этого, прямые проекции изображений «линий позвоночника» были отражены слева направо для удобства дальнейшего анализа. Результаты осуществления процедур этапа 1 представлены на рис. 3.

Этап 2. Получение и подготовка трехмерного изображения поверхности спины.

Ранее в публикациях авторами был представлен алгоритм получения трехмерного изображения поверхности спины человека, последовательного выделения реперных точек и линии позвоночника [8, 17]. Следует отметить, что в качестве линии позвоночника при использовании программного обеспечения ScolView[®] именуется кривая, продолжающаяся от проекции пилонидальной ямки до середины минимальной по протяженности проекции на дорсальную поверхность объекта линии горизонтального «среза» дорсальной поверхности шеи трехмерного изображения объекта.

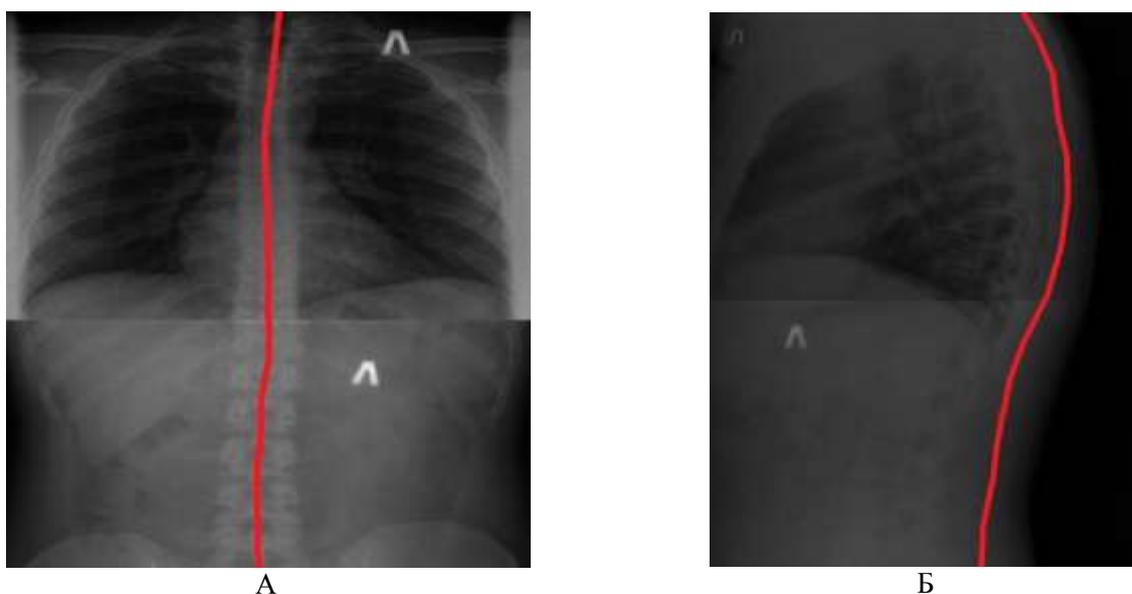


Рис. 2. Выделение «линии позвоночника» (обозначена красным цветом) и ее резекция у испытуемого Ш. Прямая (А) и боковая (Б) проекция.

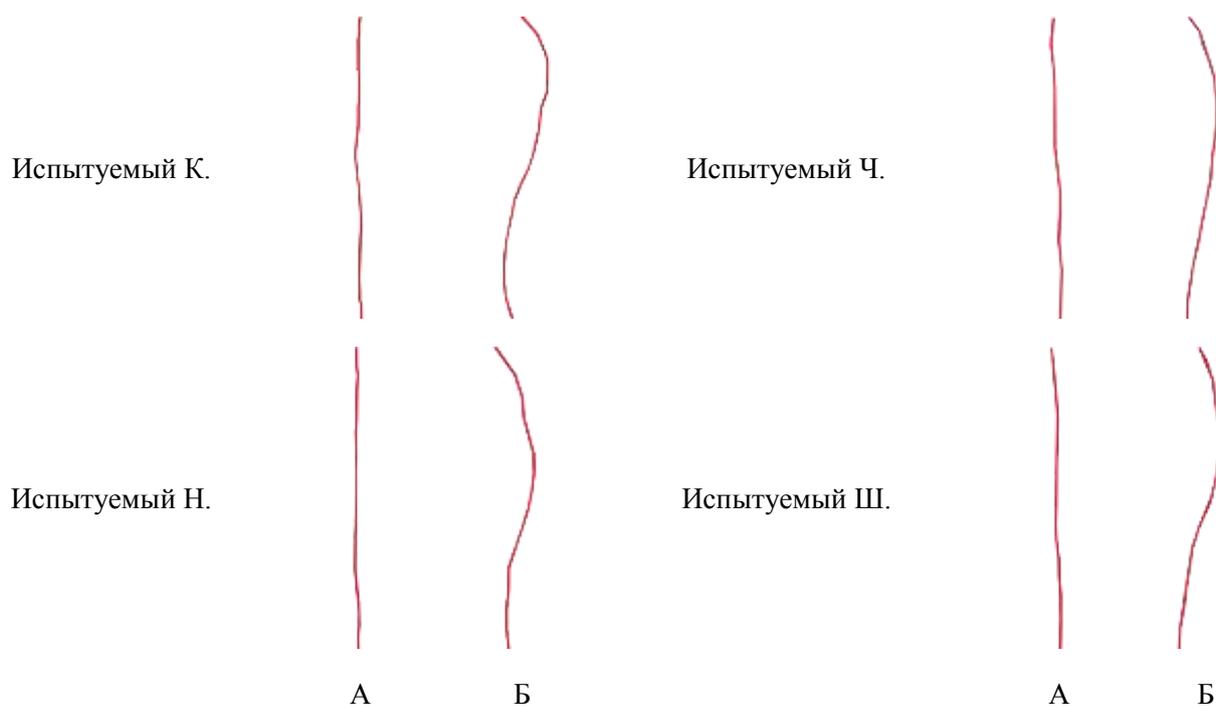


Рис. 3. Стратифицированные из рентгенограмм линии позвоночника (обозначены красным цветом). Прямая (А) и боковая (Б) проекция.

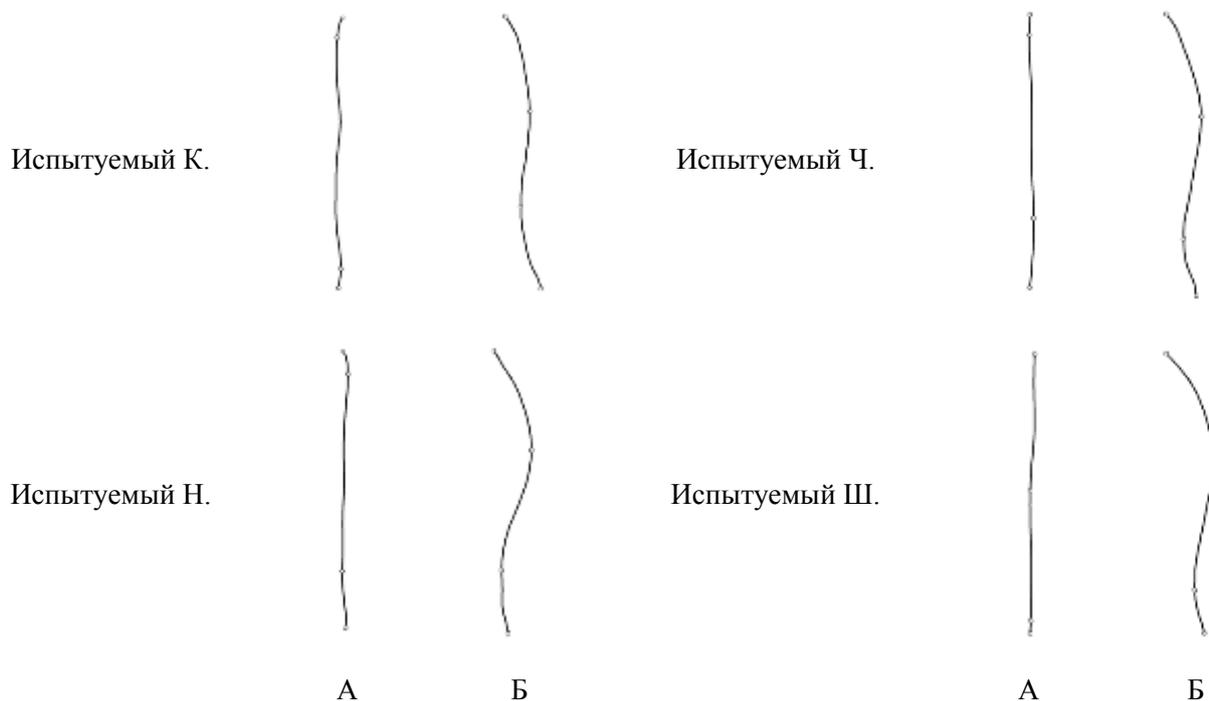


Рис. 4. Линии позвоночника, полученные при помощи ScolView[®]. Прямая (А) и боковая (Б) проекция

Таким образом, в качестве изображений, порождаемых ScolView[®] авторми, были получены «трехмерные» кривые, которые для удобства последующего анализа представлены в прямой и боковой проекции на рис. 4, анало-

гично «линии позвоночника», полученной рентгенографически и изображенной на рис. 3.

Этап 3. Сюръекция «линий позвоночника». Процедура наложения кривых, соответствующих расположению вершин остистых отрост-

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ...

ков и полученных рентгенографически и фотограмметрически (т.н. «линий позвоночника» – далее: кривых), была названа авторами сюръекцией по причине актуальной необходимости верификации на каждой кривой обеих групп не менее двух точек (далее – точки сюръекции (ТС)), могущих стать таковыми для решения двух последовательных задач этого этапа:

- Масштабирование кривых – пропорциональное изменение вертикальных и горизонтальных размеров для сопоставления ТС.

- Позиционирование кривых – перемещение кривых на плоскости (ротация) для сопоставления ТС.

- Необходимость таких манипуляций продиктована рядом условий, которые необходимо было выполнить для достижения цели настоящего исследования:

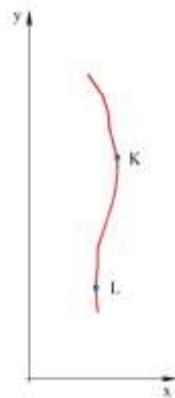
- Несоответствие топографии кривых относительно анатомических ориентиров – так, у кривых, полученных в результате обработки рентгенограмм, точкой начала служит проекция основания крестца, а точкой конца – вариативно остистый отросток позвонков $C_{IV}-C_{VI}$; тогда как у кривых, порожденных ScolView[®], точкой начала является пилонидальная ямка, соответствующая крестцово-копчиковому сочленению, а точкой конца – абстрактная проекция остистых отростков шейного отдела вплоть до позвонка C_{VI} в зависимости от степени выраженности ростральной порции трапециевидной мышцы.

- Гипотетическое несоответствие позы установки при проведении рентгенографии и фотограмметрии.

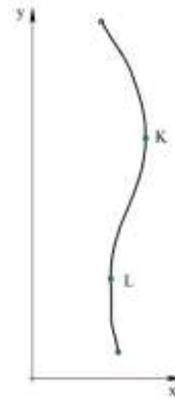
В качестве ТС нами были выбраны точки на боковой проекции кривых, соответствующие вершинам физиологических изгибов позвоночника груднопоясничного отдела – грудного кифоза (К) и лордоза (L) и, следовательно, обладающие наименьшим и наибольшим значением координаты x соответственно при их рассмотрении в двухмерной плоскости координат. Одновременно с этим точка К должна обладать максимальным, а точка L – минимальным значением координаты y . Пример верификации ТС представлен на рис. 5.

3.1. Построение отрезка KL в боковой проекции. Для решения задачи по позиционированию и масштабированию кривых нами были построены отрезки KL на изображениях боковых проекций обеих групп кривых для каждого испытуемого «рис. 6».

3.2. Сюръекция отрезков KL в боковой проекции. Для проведения дальнейшего математического анализа нами было проведено наложение изображения кривых, полученных разными методами, в ходе которого были уравнены координаты ТС путем масштабирования и позиционирования отрезков KL, соответственно. Пример сюръекции отрезков в боковой проекции представлен на рис. 7.



Рентгенографический метод



Фотограмметрический метод

Рис. 5. Верификация ТС (обозначены синим цветом) на линиях позвоночника в двумерной плоскости координат, полученных рентгенографическим и фотограмметрическим методом (испытуемый Н., боковая проекция). Зеленым обозначены точки начала и конца линии позвоночника, порожденной ScolView[®]

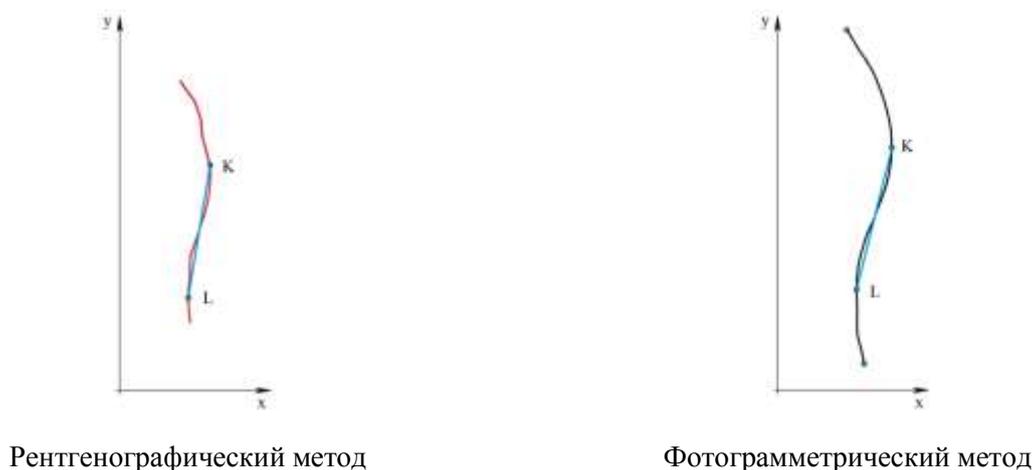


Рис. 6. Построение отрезка KL (обозначен синим цветом, испытуемый Н., боковая проекция)



Рис. 7. Сюръекция «линии позвоночника» и ТС (испытуемый Н., боковая проекция)

3.3. Сюръекция линий позвоночника в прямой проекции. Проведенные ранее манипуляции позволили совместить кривые, полученные разными способами в боковой проекции. Однако, аналогичные действия не могут быть осуществлены с «линиями позвоночника», полученными в прямой проекции, поскольку ТС не могут явно верифицированы. В связи этим координаты ТС были спроецированы на изображение кривой в прямой проекции из аналогичного изображения в боковой проекции «рис. 8», после чего была выполнена сюръекция кривых, полученных разными методами аналогично общим принципам, описанным в п. 3.1., 3.2 «рис. 9».

3.4. Резекция вертикальных размеров сюръектированных изображений – выполнялась для унификации размеров изображений в целях проведения последующего анализа. Обработанное для анализа изображение линий позвоночника представлено на рис. 10.

Этап 4. Анализ сходства сюръектированных кривых.

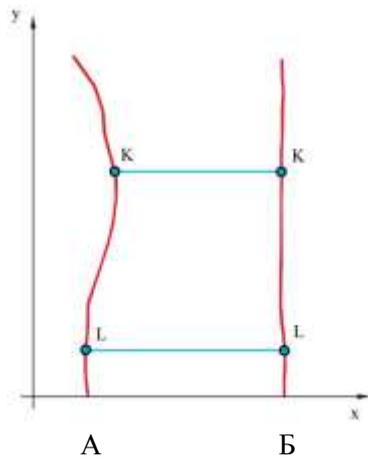
Отмечаем на каждом из фронтального и сагиттального рентгеновском снимках N точек ($N = 17$) A_i ($i = 0, \dots, 17$), расположенных на одинаковом расстоянии по высоте между ними, и определяем их координаты как пиксели на изображении при условии, что начало системы координат помещено в самую нижнюю точку A_0 , соответствующую пятому поясничному позвонку, а точка A_{17} соответствует первому грудному позвонку.

Соединяем получившиеся близлежащие точки отрезками для получения кусочно-непрерывной кривой, отображающей форму позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

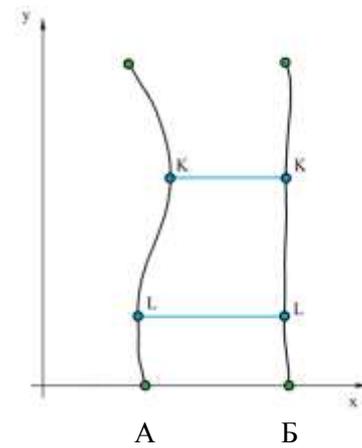
На рис. 11 приведены кривые, соответствующие позвоночнику на рентгеновском снимке (черного цвета) и полученную при помощи *ScolView*[®] (красного цвета), отнесенные к высоте позвоночника, т.е. каждая координата y соответствующей точки A_i ($i = 0, \dots, 17$) записана как доля от высоты позвоночника, принятая за единицу, где Δ – шаг по высоте.

Также на рис. 12 приведены кривые, отражающие форму позвоночника (рентген – черный цвет, *ScolView*[®] – красный цвет), а также расстояние между кривыми (по оси абсцисс отложены точки, отмеченные на позвоночнике, по оси ординат – доля от высоты позвоночника) (знак « \leftarrow » соответствует отклонению кривой, полученных при помощи *ScolView*[®], по сравнению с кривой, полученной при анализе рентгеновского снимка, влево, а знак « \rightarrow » – право):

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ...



Рентгенографический метод



Фотограмметрический метод

Рис. 8. Проекция ТС из боковой на прямую проекцию изображений (испытуемый Н.). Прямая (А) и боковая (Б) проекция



Рис. 9. Сюръекция «линии позвоночника» и ТС (испытуемый Н., прямая проекция)



Рис. 10. Сюръекцированные изображения «линий позвоночника» (испытуемый Н.). Прямая (А) и боковая (Б) проекция

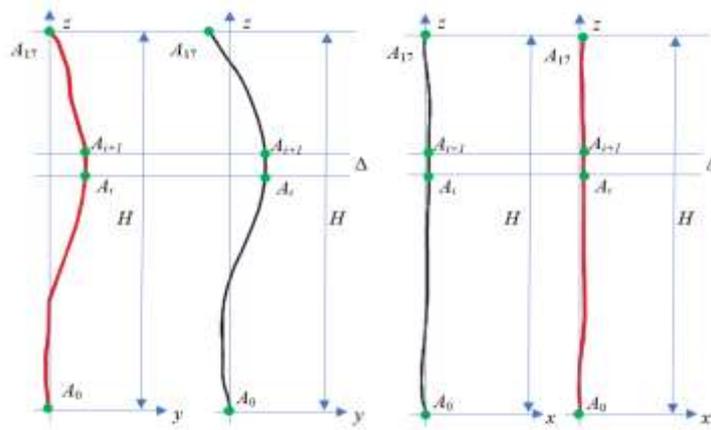


Рис. 11. Графики кривых, соответствующих форме позвоночного столба, полученные при помощи программы *ScolView*[®] (красная кривая) и рентгенологического исследования (черная кривая) на аппарате Millenium фирмы Паритет (Ярославль, Россия): А – сагиттальная плоскость, Б – фронтальная плоскость.

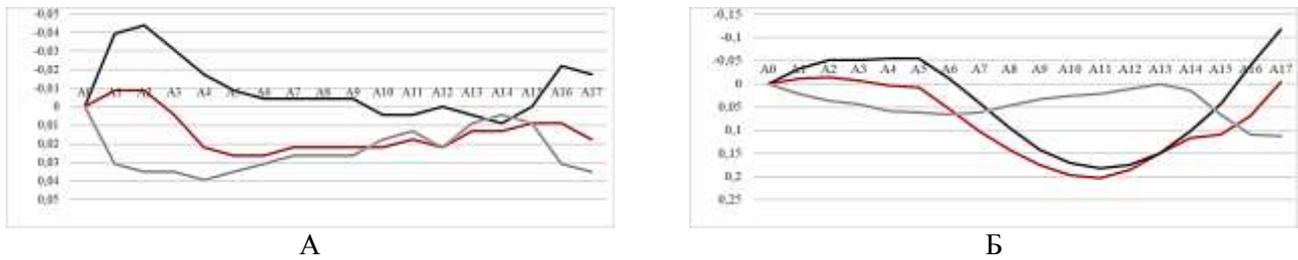


Рис. 12. Кривые, отражающие форму позвоночника (рентген – черный цвет, *ScolView*[®] – красный цвет), а также расстояние между кривыми (по оси абсцисс отложены точки, отмеченные на позвоночнике; по оси ординат – расстояние как доля от высоты позвоночника): А – сагиттальная плоскость, Б – фронтальная плоскость

$$\delta_i^{\text{фронт.}} = \frac{y_i^{\text{ScolView}} - y_i^{\text{Рентген}}}{H}, \quad (1)$$

$$\delta_i^{\text{сагит.}} = \frac{x_i^{\text{ScolView}} - x_i^{\text{Рентген}}}{H}, \quad (2)$$

где $H = z_{A17} - z_{A0}$ (высота позвоночника в пикселях).

На рис. 13 приведены кривые скорости изменения наклона кривых в рамках длины участка позвоночника (V , град.), т.е.

$$\alpha_{i+1}^{\text{фронт.}} = \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta}\right), \quad (3)$$

$$\alpha_{i+1}^{\text{сагит.}} = \arctan\left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta}\right),$$

где $\Delta = H / N$ ($i = 0, \dots, N - 1$), $N = 17$.

Приближение графиков к нулю говорит, что на том или ином участках позвоночник имеет вертикальную форму в сагиттальной или фронтальной плоскостях.

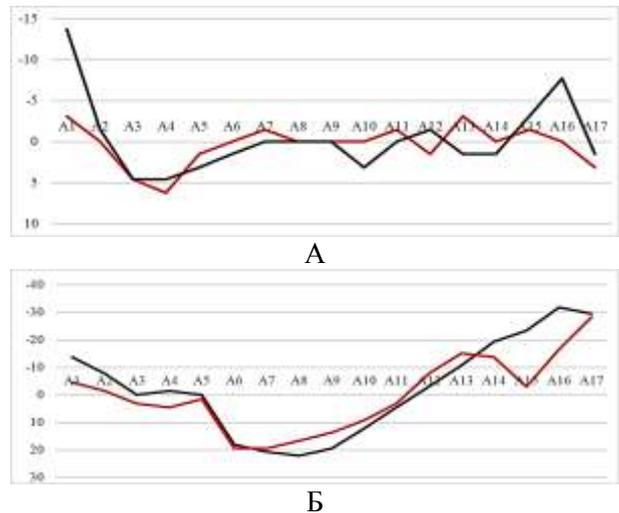


Рис. 13. Кривые, отражающие скорость изменения формы позвоночника (рентген – черный цвет, *ScolView*[®] – красный цвет) (по оси абсцисс отложены точки, отмеченные на позвоночнике; по оси ординат – скорость в градусах): А – сагиттальная плоскость, Б – фронтальная плоскость

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам данной работы видно, что в рамках современной медицины применение современных цифровых технологий, предполагающих получение и анализ трехмерных объектов (органов, костей и поверхности тела) могут стать действенными превентивными методами. Проведенная сравнительная оценка репрезентативности рентгенографического и фотограмметрического методов диагностики деформации позвоночного столба на основе анализа данных 4 добровольцев показала, что отклонение кривых, полученных рентгенографическим и фотограмметрическим методами исследований, позвоночника в боковой и сагиттальной проекциях не превышает 5% по отношению к высоте позвоночного столба. Соответственно, фотограмметрический метод, являясь безопасным и удобным методом диагностики, может стать методом превентивной оценки деформации позвоночника, дополняющим данными состояния позвоночника между плановыми рентгенологическими исследованиями.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Пермского научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапиро С.Р., Коновалов М.Е. Об эффективности цифровизации в здравоохранении. Столыпинский вестник, 2021. 3(2).
2. Самойлова Е.О., Шаев Ю.М. Интернет вещей: к вопросу о сущности и перспективах. Технические науки – от теории к практике, 2016. №11(59): с. 32–37.
3. Малик М., Камм А.Дж., Уикури Х., Ломбарди Ф., Шмидт Г., Шварц П.Дж., Забель М. Группа по изучению электронного ритма EHRA. Электронные гаджеты и их претензии, связанные со здоровьем. Int J Cardiol, 2018. 258: р. 163–164.
4. Минц Ю., Броуди Р. Введение в искусственный интеллект в медицине. Minim Invasive Ther Allied Technol, 2019. 28(2): р. 73–81.
5. Ван Л., Александер К.А. Аналитика больших данных в медицинской инженерии и здравоохранении: методы, достижения и вызовы. J Med Eng Technol, 2020. 44(6): р. 267–283.
6. Тейшейра П.А., Соуза П.А., Коимбра М. Проблемы компьютерного зрения для оценки хронических ран. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2020. P. 1840–1843.
7. Блохина Н.Н., Воропаев А.В. «Не навреди!» – как категорический императив планетарной этики. Байкальский медицинский журнал, 2001. 24(1): с. 66–69.
8. Шитоев И.Д., Муравьев С.В., Каракулова Ю.В., Печерский В.И., Никитин В.Н., Клоян Г.З. Эволюция оптической диагностики деформации позвоночника. Методы и перспективы развития (обзор литературы). Гений ортопедии, 2022. 28(5): с. 734–744.
9. Такасаки Х. Муаровая топография. Appl. Opt, 1973. 12(4): р. 845–850.
10. 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.
11. Гердлер С., Чо Б., Михаил К.М., Чунг З.Б., Маза Н., Кан-Вук Чо С. Новые методы визуализации при идиопатическом сколиозе у детей и подростков: Обзор литературы. World Neurosurgery, 2020. 136: р. 128–135.
12. Хакенберг Л., Йерхольцер Е., Петцль В., Гетце К., Лиленквист У. Растерстереографический анализ формы спины при идиопатическом сколиозе после передней коррекции и сращения. Clin. biomechanics (Bristol, Avon), 2003. 18(1): 8 р.
13. Сарнадский В.Н. Цифровая медицина для детской ортопедии. Главный врач Юга России, 2021. №1(76): 46 с.
14. Астахова И.С., Журавлев А.В. Трехмерное моделирование как метод визуализации объектов геологического наследия в музейном пространстве. Общество. Среда. Развитие, 2019. №4(53): с. 31–37.
15. Белинская А.Ю., Хомутов С.Ю. Возможности магнитно-ионосферных наблюдений в задачах прогноза и диагностики природных и техногенных экстремальных событий. Интерэкспо Гео-Сибирь, 2012. 3: с. 37–45.
16. Ван Дж.М., Ми Дж.И., Ху У.Х., Ли З.Д., Чжоу Д.Х., Чен Ю.Дж. Оценка методов 3D-измерения повреждений поверхности тела и шрамов. Fa Yi Xue Za Zhi, 2020. 36(2): р. 204–209.
17. Шитоев И.Д., Столбов В.Ю., Муравьев С.В., Никитин В.Н., Клоян Г.З. Цифровые модели и инструменты для диагностики трехмерной деформации позвоночника на основе данных стереофотограмметрии. Прикладная математика и вопросы управления, 2022. №4: с. 60–82.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE REPRESENTATIVENESS OF RADIOGRAPHIC AND PHOTOGRAMMETRIC METHODS FOR DIAGNOSING SPINAL COLUMN DEFORMITY

I.D. Shitoev^{1,2}, S.V. Muravev³, V.N. Nikitin^{1,2}, A.D. Pastukhov⁴

¹ Perm National Research Polytechnic University

² Yord Tech LLC

³ E.A. Vagner Perm State Medical University

⁴ City Clinical Hospital No. 2 named after F. K. Gal

Abstract. Modern trends in medicine consist in the use of modern digital technologies involving the acquisition and analysis of three-dimensional objects (organs, bones and body surfaces). To analyze spinal deformity, X-ray research methods are used, which are the gold standard in modern medicine. This article provides a comparative assessment of the representativeness of radiographic and photogrammetric methods for diagnosing spinal column deformity. The photogrammetric method is based on the analysis of the back surface obtained using a mobile phone camera and the installed ScolView[®] program. The subjects were four male volunteers aged from 29 to 42 liters (35.5±4.61 liters). A comparative assessment of the representativeness of radiographic and photogrammetric methods for diagnosing spinal column deformity based on the analysis of data from 4 volunteers showed that the deviation of the curves obtained by radiographic and photogrammetric methods of studies of the spine in lateral and sagittal projections does not exceed 5% relative to the height of the spinal column. Accordingly, the photogrammetric method, being a safe and convenient diagnostic method, can become a method of preventive assessment of spinal deformity, complementing the data on the state of the spine between routine X-ray examinations

Keywords: scoliosis, X-ray examination, photogrammetry, spine, comparative assessment

References

1. Shapiro S.R., Konovalova M.E. On the effectiveness of digitalization in healthcare. *Stolypinskiy vestnik*, 2021, no. 3(2). (In Russian)
2. Samoilova E.O., Shaev Yu.M. Internet of things: on the question of the essence and prospects. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, 2016, no. 11(59), pp. 32–37. (In Russian)
3. Malik M., Camm A.J., Huikuri H., Lombardi F., Schmidt G., Schwartz P.J., Zabel M. e-Rhythm Study Group of EHRA. Electronic gadgets and their health-related claims. *Int J Cardiol*, 2018, no. 258: p. 163–164.

4. Mintz Y., Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2019, no. 28(2), pp. 73–81.

5. Wang L., Alexander C.A. Big data analytics in medical engineering and healthcare: methods, advances and challenges. *J Med Eng Technol*, 2020, no.44(6): pp. 267–283.

6. Teixeira P.A., Sousa P.A., Coimbra M. Computer Vision Challenges for Chronic Wounds Assessment. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2020, pp. 1840–1843.

7. Blohina N.N., Voropaev A.V. «Don't do harm!» – as an imperative of planet aethics. *Bajkal'skij medicinskij zhurnal*, 2001, no. 24(1), pp. 66–69. (In Russian)

8. Shitoev I.D., Muravyev S.V., Karakulova Yu.V., Pechersky V.I., Nikitin V.N., Kloyan G.Z. Evolution of optical diagnosis of spinal deformity. Methods and future development (literature review). *Genij ortopedii*, 2022, no. 28(5), pp. 734–744. (In Russian)

9. Takasaki. H. Moiré topography. *Appl. Opt*, 1973, no. 12(4), pp. 845–850.

10. Sarnadsky V. N., Wilberger S. Ya., Shevchenko A.V., Sadovaya T. N. Investigation of the accuracy of the method of computer optical topography in restoring the shape of the surface of the human torso model. *Hirurgija pozvonochnika*, 2006, no. 2, pp. 62–67. (In Russian)

11. Girdler S., Cho B., Mikhail C.M., Cheung Z.B., Maza N., Kang-Wook Cho S. Emerging Techniques in Diagnostic Imaging for Idiopathic Scoliosis in Children and Adolescents: A Review of the Literature. *World Neurosurgery*, 2020, no. 136, pp. 128–135.

12. Hackenberg L., Hierholzer E., Pötl W., Götze C., Liljenqvist U. Rasterstereographic back shape analysis in idiopathic scoliosis after anterior correction and fusion. *Clin. biomechanics (Bristol, Avon)*, 2003, no. 18(1):.8 p.

13. Sarnadsky V.N. Digital medicine for pediatric orthopedics. *Glavnyj vrach Juga Rossii*, 2021, no. 1(76). 46 p. (In Russian)

14. Astakhova I.S., Zhuravlev A.V. Three-dimensional modeling as a method of visualization of geological heritage objects in the museum space. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*, 2019, no. 4(53), pp. 31–37. (In Russian)

15. Belinskaya A.Yu., Khomutov S.Yu. Possibilities of magnetic-ionospheric observations in forecasting and diagnostics of natural and man-made extreme events. *Interjekspo Geo-Sibir'*, 2012, no. 3, pp. 37–45. (In Russian)

16. Wang J.M., Mi J.Y., Hu W.H., Li Z.D., Zou D.H., Chen Y.J. Evaluation of 3D Measuring Methods for Body Surface Damage and Scars. *Fa Yi Xue Za Zhi*, 2020, no. 36(2), pp. 204–209.

17. Shitoev I.D., Stolbov V.Yu., Muravyev S.V., Nikitin V.N., Kloyan G.Z. Digital models and tools for diagnosing three-dimensional spinal deformity based on stereophotogrammetry data. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*, 2022, no. 4, pp. 60–82. (In Russian)