

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА

УДК 616.711-007.55-071.3

**Эффективность новой интеллектуальной системы
в оценке угла сколиоза по рентгенограммам позвоночника
и возможность ее клинического применения***Д. Х. И. Кассаб¹, И. Г. Камышанская^{1,2}, С. В. Трухан³, Н. А. Ладогубец¹*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Санкт-Петербургская городская Мариинская больница,
Российская Федерация, 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 56

³ ООО «Эспер»,
Российская Федерация, 143409, Красногорск, ул. Успенская, 24

Для цитирования: Кассаб Д. Х. И., Камышанская И. Г., Трухан С. В., Ладогубец Н. А. Эффективность новой интеллектуальной системы в оценке угла сколиоза по рентгенограммам позвоночника и возможность ее клинического применения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2023. Т. 18. Вып. 3. С. 293–303. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.305>

Метод Кобба является до сих пор золотым стандартом в оценке угла сколиотической деформации позвоночника. Субъективность оценки степени сколиоза по углу Кобба всегда была главным недостатком этого метода. Целью данной работы явилось изучение диагностических возможностей новой системы (программы ЭВМ) Esper.Scoliosis в оценке степени сколиоза путем автоматического измерения углов Кобба на фронтальных рентгенограммах. Система основана на обучении искусственных нейронных сетей. Проведено сравнение результатов анализа рентгенограмм интеллектуальной системой и врачом-рентгенологом на тестовом наборе снимков, состоящим из 114 цифровых рентгенограмм с разной степенью сколиоза. На 84,8% найденных искривлений не было обнаружено существенной разницы в измерении угла Кобба между системой и врачом (вариабельность < 2,5°). Больше согласованности в измерениях между двумя методами найдено в группах сколиоза с I и II степенью. Было заметно, что качество рентгенограмм играет основную роль в точности определения тел позвонков и измерения углов. Рекомендуется контролируемое использование системы Esper.Scoliosis врачом-рентгенологом в клинической практике в качестве объективного инструмента измерения угла Кобба.

Ключевые слова: сколиоз, рентгенограмма, искусственный интеллект, позвоночник, искусственные нейронные сети.

Введение

Сколиоз — одна из наиболее распространенных деформаций позвоночника среди всех возрастных групп. Диагностика и лечение сколиоза зависят от некоторых параметров, измеренных на рентгенограммах позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Золотым стандартом в оценке степени сколиоза является измерение угла искривления позвоночника методом Кобба [1]. Поскольку на контрольных спондилограммах увеличение угла сколиоза на 5° и выше является показателем прогрессии искривления, точность его измерения влияет на тактику лечения пациентов. Так называемый ручной метод измерения угла Кобба на аналоговых рентгенограммах с помощью карандаша и транспортира постепенно заменяется компьютерным способом, где используются электронные инструменты измерения с помощью программы постобработки цифровых рентгенограмм. Электронные инструменты позволяют рентгенологу избежать некоторых недостатков ручного метода. К ним можно отнести неточное проведение перпендикуляров к касательным линиям тел позвонков и измерение угла Кобба между перпендикулярами. Однако в отличие от аналоговых цифровых рентгенограмм, даже некачественные можно отфильтровать, подкорректировать контрастность и четкость изображения, что позволит в последующем сделать более точное измерение угла искривления. Но основным недостатком рентгенолога остается неточное определение конечных позвонков дуги сколиоза и неправильное проведение касательных линий к замыкательным пластинам тел позвонков с помощью компьютерной мыши [2].

В настоящее время искусственный интеллект (ИИ) широко применяется в разных видах медицинской деятельности с целью повышения эффективности диагностики и лечения. В последние годы многие исследователи изучают различные методы автоматического измерения угла Кобба, основанные на ИИ и машинном обучении (machine learning — ML). Эти методы могут стать бесценными инструментами для объективной оценки угла сколиоза, что уменьшит вариабельность измерений и сэкономит время врача-рентгенолога, особенно в ситуациях, когда необходимо проследить за динамикой угла сколиоза на нескольких контрольных снимках одного пациента. Однако до сих пор ни один из методов, основанных на ИИ, не был применим и долго использован в клинической практике [3–5].

Машинное обучение — это подраздел ИИ, изучающий методы, которые используют наборы больших данных и статистические связи в этих данных для решения разного рода задач. Различают две основные формы ML: обучение с учителем и обучение без учителя (самообучение). При обучении с учителем используются аннотированные данные, когда каждый образец сопоставляется с истинным ответом, определенным, например, врачом-рентгенологом. При самообучении алгоритм ML пытается выявить зависимости между образцами и соответствующими истинными ответами, в итоге прогнозируя результаты самостоятельно при поступлении новых данных. Важным требованием к таким алгоритмам является способность к обобщению, когда вероятность ошибки на тестовой выборке достаточно мала или близка к ошибке на тренировочной выборке. В настоящее время почти во всех современных моделях ИИ используется машинное обучение с учителем [6, 7].

Искусственной нейронной сетью (artificial neural network — ANN) является ML-модель, которая устроена по принципу нервной системы и нейронов в био-

логических организмах. Такие модели состоят из нескольких искусственных нейронных слоев, связанных между собой определенными информационными узлами. Каждый узел способен к активации и получению информации от других узлов из предыдущего слоя. Глубокая нейронная сеть (deep neural network — DNN) представляет собой сеть, состоящую из множества слоев. При этом начальные слои способны извлекать простые признаки (например, на изображении это края и линии позвонков), а дальнейшие слои — все более сложные признаки (очертания, форму, текстуру объекта). Предлагаемая нами новая система (программа ЭВМ) автоматического измерения угла Кобба Esper.Scoliosis основана на обученной DNN.

Материалы и методы

Обработка системы. Интеллектуальная система (программа ЭВМ) автоматического измерения угла Кобба Esper.Scoliosis основывается на нейросетевой модели, которая детектирует позвонки, определяя для каждого позвонка номер (Th1-L5), а также выделяет опорные точки для тела позвонка. После того как нейронная сеть найдет все позвонки на исходном изображении, автоматически определяются углы Кобба детерминированным алгоритмом. По найденным углам система ИИ определяет степень сколиоза или сообщает свой результат измерения, например, что патологические изменения не были найдены.

Для обучения нейронной сети был выбран датасет из базы данных «База данных рентгенограмм позвоночника со сколиозом различных степеней» (XrScl)¹. Датасет состоял из рентгенограмм позвоночника, выполненных в прямой проекции, пациентов разного возраста и пола с различными степенями сколиоза, а также рентгенограмм органов грудной клетки и органов брюшной полости, поскольку рентгенолог часто описывает сколиоз по рентгенограммам, выполняемым по другой причине. Поэтому датасет, использованный в обучении нейросети, был максимально близок к истинной клинической ситуации.

Оценка точности новой интеллектуальной системы. Для тестирования точности автоматического метода ИИ было отобрано 114 цифровых рентгенограмм с разной степенью сколиоза из базы данных «База данных рентгенограмм позвоночника со сколиозом различных степеней» (XrScl). Среди них были 61 рентгенограмма всего позвоночника, 18 рентгенограмм органов грудной клетки, 18 рентгенограмм грудного и 17 рентгенограмм поясничного отделов позвоночника. Среди пациентов различали 55 (48 %) лиц женского пола, 39 (34 %) — мужского пола и 20 (18 %) — неизвестного пола. Распределение пациентов по возрасту было следующим: 1–3 года — 1 %, 4–10 лет — 8 %, 11–18 лет — 54 %, 19–59 лет — 33 %, от 60 лет и более — 4 %. Для определения степени сколиоза по величине угла Кобба все рентгенограммы были расчерчены и измерены врачом-рентгенологом с двухлетним опытом работы в оценке сколиоза. При этом использовался DICOM Viewer — просмотрщик медицинских изображений. Все рентгенограммы были распре-

¹ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620577 Российская Федерация. «База данных рентгенограмм позвоночника со сколиозом различных степеней» (XrScl): № 2022620422: заявл. 09.03.2022; опублик. 17.03.2022 / Д. Х. И. Кассаба, И. Г. Камышанская, В. М. Черемисин, А. А. Першин; заявитель — федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

лены по четырем группам, согласно приказу Министерства обороны Российской Федерации [8], где I степень сколиоза с углом Кобба не более 10° составила 16 % рентгенограмм; II степень с углом $11-25^\circ$ — 15%; III степень с углом $26-50^\circ$ — 16 % и IV степень углом более 50° — 17 % рентгенограмм.

Группа «норма» (0 степень) была добавлена к этой классификации в диапазоне углов $0-5^\circ$, которая составила 37 % рентгенограмм. Согласно данным Общества исследования сколиоза (Scoliosis Research Society — SRS), диагноз «сколиоз» подтверждается, когда угол Кобба (угол искривления позвоночной оси по фронтальной проекции) составляет более 10° . Поскольку неструктурный сколиоз может быть обнаружен при угле Кобба менее 10° , а угол до 5° считается физиологичным в грудном отделе позвоночника в области дуги аорты, в качестве критерия наличия сколиоза I степени мы взяли угол более 5° и менее 10° .

Важной особенностью тестового набора являлось наличие рентгенограмм с существенными артефактами (15 рентгенограмм), перекрывающими часть позвонка от одного и более позвонков. Это были внешние артефакты — такие, как корсет и ювелирные изделия, а также внутренние артефакты — такие, как центральный венозный катетер и плевральная дренажная трубка. Наличие таких артефактов могло повлиять на способность системы ИИ определять тело позвонка и находить углы сколиоза.

Нужно отметить, что за базовую истину мы брали измерения врача, несмотря на то что оно субъективно и зависит от многих факторов, в том числе от качества снимка и усталости рентгенолога.

Результаты и обсуждение

Оценка точности нового метода была проведена путем сравнения всех углов, найденных программой Esper.Scoliosis, с углами, измеренными врачом-рентгенологом. Идентифицировано и измерено с помощью автоматической системы 212 углов в диапазоне от 5 до $91,3^\circ$. Из них 33 угла не были обнаружены врачом, из которых 61 % принадлежал группе рентгенограмм 0 степени (угол $<5^\circ$), что представлено на рис. 1. Врач-рентгенолог не выделял и не измерял на рентгенограмме углы $<5^\circ$, поскольку такое искривление незначимо и соответствует норме — 0 степени. Однако с помощью нашей системы ИИ можно было обнаружить угол Кобба несколько выше 5° , и тогда сколиоз становился I степени вместо нулевой. В таком случае этот угол мы измеряли дополнительно, то есть повторно, как показано на рис. 2. Причина неизмерения либо неточного измерения угла Кобба врачом-рентгенологом чаще всего заключалась в плохом качестве рентгеновского изображения позвоночника. Кроме того, угол Кобба мог быть ложно определен системой ИИ, если наблюдалась ошибка в детекции тел позвонков и их замыкательных пластинок. Такие ошибки были обнаружены на рентгенограммах низкого качества, также на рентгенограмме органов грудной клетки. Часто ошибки ИИ наблюдались при определении границ тела L5 позвонка, а также когда конечный позвонок дуги сколиоза располагался в краевой зоне рентгенограммы.

В результате проанализированы только те углы искривлений, которые были найдены как врачом, так и системой ИИ (179 углов: 27 углов на рентгенограммах с I степенью, 40 углов на рентгенограммах со II степенью, 53 угла на рентгенограммах с III степенью и 59 углов на рентгенограммах с IV степенью).

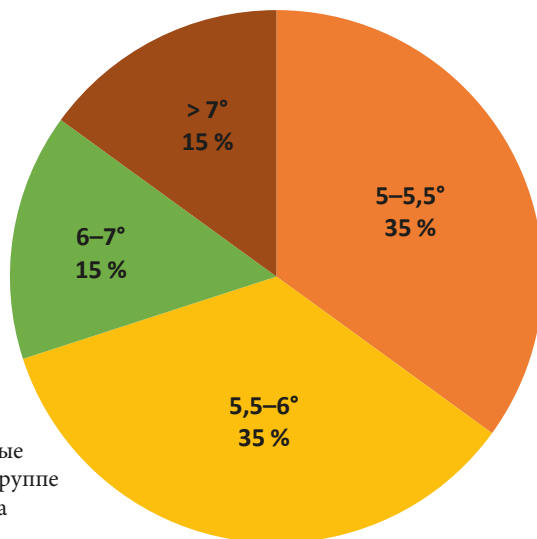


Рис. 1. Углы Кобба, измеренные искусственным интеллектом, в группе рентгенограмм без сколиоза

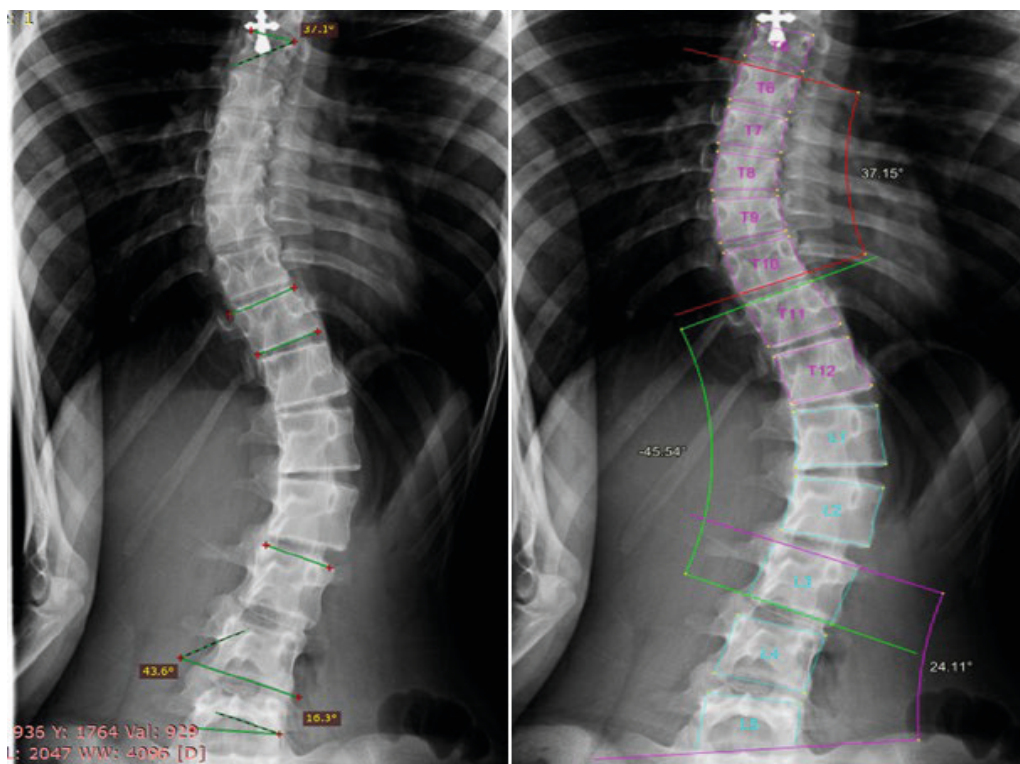


Рис. 2. Вариабельность измерения угла Кобба, полученного искусственным интеллектом (слева) — 5,9°, врачом — 3,3°. Причина расхождения — низкое качество рентгенограмм

Согласованность двух методик (врача и ИИ) в измерении угла Кобба разных степеней сколиоза (I, II, III и IV) была оценена с помощью метода Бленда — Алтмана с использованием Microsoft Excel. Согласно этому методу, была найдена средняя

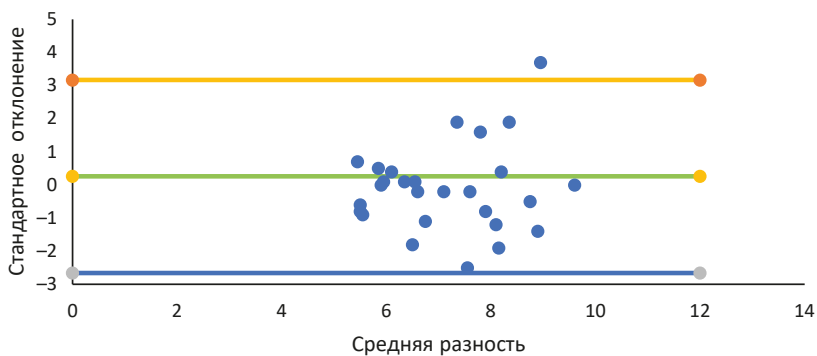


Рис. 3. Согласованность между измерениями, выполненными искусственным интеллектом и врачом при I степени сколиоза

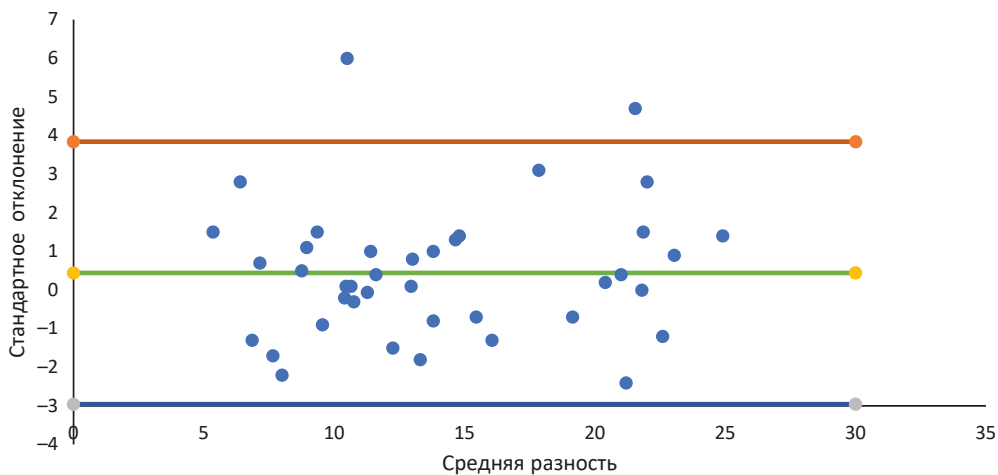


Рис. 4. Согласованность между измерениями, выполненными искусственным интеллектом и врачом при II степени сколиоза

разность и стандартное отклонение разности углов каждой степени. Средняя разность характеризует систематическое расхождение, а стандартное отклонение — степень разброса результатов. Каждая степень сколиоза была проанализирована отдельно. Данные статистического анализа представлены на рис. 3–6 и в табл. 1.

На основании табл. 1 можно констатировать, что наибольшая согласованность в измерениях между двумя методами найдена в группах с I и II степенью сколиоза со средней разностью $-0,10$ и $0,46$ соответственно. В среднем углы Кобба, рассчитанные интеллектуальной системой, были близки к измерениям врача. Кроме того, 95 % различий в измерении углов Кобба между двумя методами составляли $< 4,5^\circ$, кроме группы с III степенью сколиоза, где в 95 % случаев вариабельность находилась в диапазоне от $-6,60$ до $7,85^\circ$. Более того, наибольшее стандартное отклонение $3,69$ отмечалось в группе рентгенограмм именно с III степенью сколиоза. Результаты статистического анализа показаны на рис. 3–6 в виде диаграмм Бленда — Алтмана для каждой степени сколиоза.

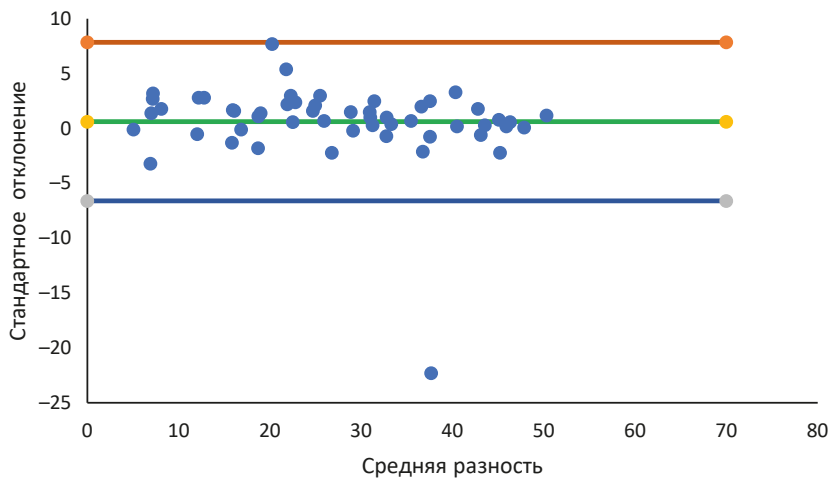


Рис. 5. Согласованность между измерениями, выполненными искусственным интеллектом и врачом при III степени сколиоза

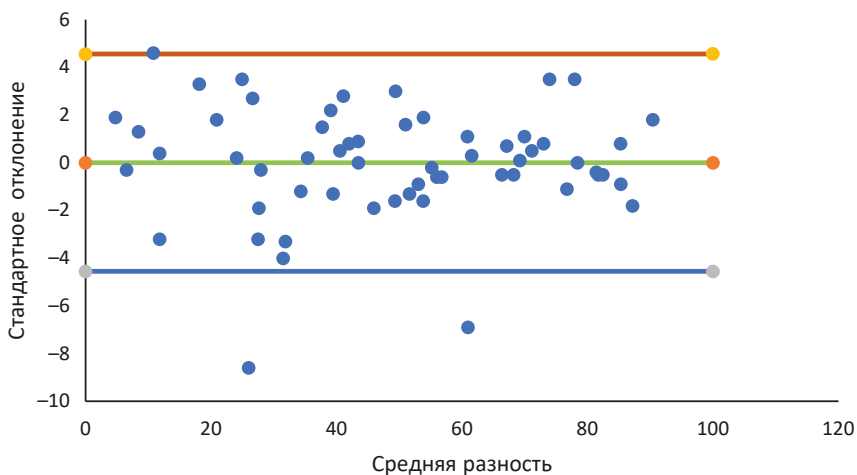
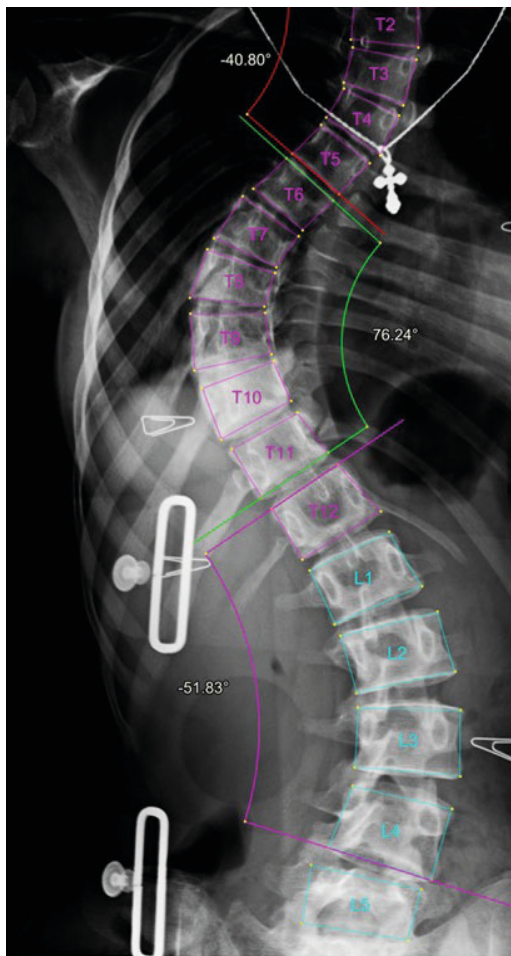


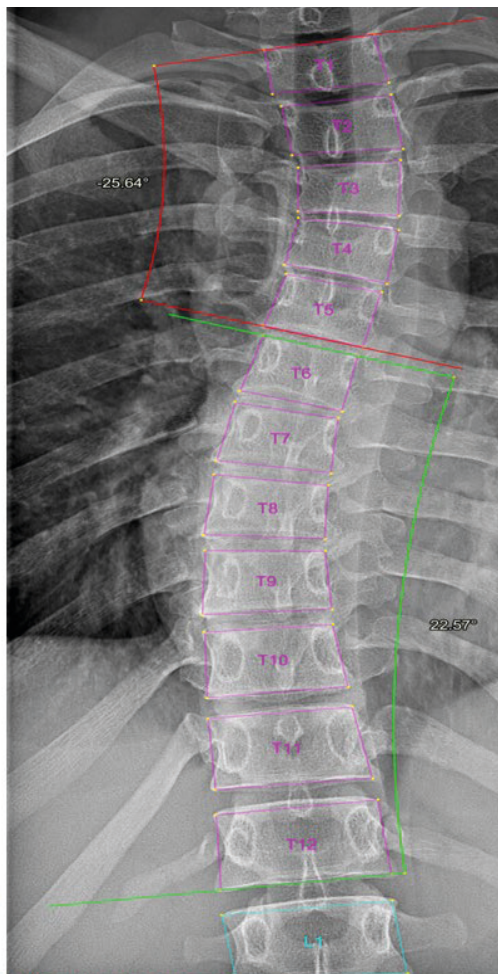
Рис. 6. Согласованность между измерениями, выполненными искусственным интеллектом и врачом при IV степени сколиоза

Таблица 1. Согласованность двух методик-измерения угла Кобба при различных степенях сколиоза

Параметр	Степень сколиоза			
	I	II	III	IV
Средняя разность	-0,10	0,46	0,62	0,00
Стандартное отклонение	1,29	1,73	3,69	2,32
Верхний предел доверительного интервала	2,43	3,84	7,85	4,56
Нижний предел доверительного интервала	-2,63	-2,93	-6,60	-4,55



ИИ-Сервис - Esper.Scoliosis
Только для исследовательских целей
Выявлен сколиоз 4 степень (76.24°)



ИИ-Сервис - Esper.Scoliosis
Только для исследовательских целей
Выявлен сколиоз 2 степень (25.64°)

Рис. 7. Примеры работы системы искусственного интеллекта в измерении сколиоза — определены и пронумерованы позвонки, найдены дуги искривления и методом Кобба измерены их величины

При детальном анализе результатов исследования оказалось, что разница расчетов угла Кобба двух методик измерения на $\leq 2,5^\circ$ была у 96 % пациентов с I степенью, у 88 % — со II степенью, у 79 % — с III степенью и у 77 % — с IV степенью, что представлено в табл. 2.

Не наблюдалось значительной разницы двух методик измерения угла Кобба в 84,8 % найденных искривлений ($\leq 2,5^\circ$). Кроме того, только 2,8 % результатов признаны неудовлетворительными (вариабельность более 5°), из них 50 % ошибок были связаны с недостаточной четкостью изображения области исследования (рис. 2). Большие различия в измерениях угла Кобба влияют на пределы доверительного интервала. Наглядно результаты работы новой интеллектуальной системы показаны на рис. 7.

Поскольку точность определения границ тел позвонков является основным этапом автоматического измерения угла сколиоза, любой фактор, приводящий к неправильно-

Таблица 2. Вариабельность между результатами измерений, сделанных искусственным интеллектом и врачом, %

Степень сколиоза	≤ 1°	1–2°	2–2,5°	2,5–5°	5–10°	10–15°	15–20°	20–30°
I	63,0	29,6	3,7	3,7	0	0	0	0
II	50,0	32,5	5,0	10,0	2,5	0	0	0
III	37,7	26,4	15,1	15,1	3,8	0	0	1,9
IV	44,1	30,5	1,7	20,3	3,4	0	0	0

му определению позвонка, может привести к неточным результатам. Такие ситуации встречаются у детей, где замыкательные пластинки еще не развиты и менее четко определяются на рентгенограммах. Также на рентгенограммах органов грудной клетки со средней жесткостью часто детектируются тела 3-го и 4-го верхних грудных позвонков, а все остальные позвонки видны как единая колонна на фоне органов средостения или сливаются с ним. Замечено, что наличие металлических артефактов на изображениях значимо не влияло на систему ИИ в определении границ позвонков (рис. 7).

Различия врачом-рентгенологом и системой ИИ в выборе верхнего и нижнего конечных позвонков дуги сколиоза были обнаружены в основном на одном уровне. Отмечено, что этот фактор в нашей работе оказывал наименьшее влияние на результаты измерения угла Кобба, чем ожидалось.

Выводы

1. Новая программа ЭВМ Esper.Scoliosis, разработанная с участием авторов статьи, позволяет с высокой точностью выявлять степень сколиоза. Разница измерений угла Кобба искусственным интеллектом и врачом-рентгенологом незначительна и не превышает 2,5° в большинстве (84,8 %) обнаруженных искривлений.

2. Правильное распознавание границ тел позвонков на рентгенограмме и точное измерение угла Кобба с помощью программы ИИ напрямую зависит от качества рентгеновского изображения, которое в конечном счете определяет точность степени сколиоза.

3. Программа ЭВМ Esper.Scoliosis может быть рекомендована к использованию в клинической практике в качестве объективного инструмента определения степени сколиоза по углу Кобба.

4. Интеллектуальная программа Esper.Scoliosis сокращает время анализа рентгенограмм, повышает точность работы врача, минимизируя ошибки в измерении угла Кобба, а также устраняет субъективизм при принятии врачебных решений по результатам рентгенологического обследования.

Литература

1. Negrini S., Donzelli S., Aulisa A. G., Czaprowski D., Schreiber S., de Mauroy J. C., Diers H., Grivas T. B., Knott P., Kotwicki T., Lebel A., Marti C., Maruyama T., O'Brien J., Price N., Parent E., Rigo M., Romano M., Stikeleather L., Wynne J., Zaina F. 2016 SOSORT guidelines: orthopedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth // *Scoliosis and Spinal Disorders*. 2018. Vol. 13, no. 3. <https://doi.org/10.1186/s13013-017-0145-8>

2. *Ketenci İ. E., Yanik H. S., Erdoğan Ö., Adıyke L., Erdem Ş.* Reliability of 2 Smartphone Applications for Cobb Angle Measurement in Scoliosis // *Clin. Orthop. Surg.* 2021. Vol. 13, no. 1. P.67–70.
3. *Briganti G., Le Moine O.* Artificial intelligence in medicine: Today and Tomorrow // *Front. Med.* 2020. Vol. 5. P.7–27.
4. *Amisha, Malik P., Pathania M., Rathaur V.K.* Overview of artificial intelligence in medicine // *Journal of Family Medicine and Primary Care.* 2019. Vol. 8, no. 7. P.2328–2331.
5. *Rong L. A.* Review of medical artificial intelligence // *Global Health Journal.* 2020. Vol. 4, no. 2. P.42–45.
6. *Huang J., Li J., Li Z., Zhu Z., Shen C., Qi G., Yu G.* Detection of diseases using machine learning image recognition technology in artificial intelligence // *Computational Intelligence Neuroscience.* 2022. April 13. <https://doi.org/10.1155/2022/5658641>
7. *Гусев А. В.* Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // *Врач и информационные технологии.* 2017. № 3. С.92–105.
8. *Ортопедия: клинические рекомендации / под ред. С. П. Миронова.* М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 784 с.

Статья поступила в редакцию 28 марта 2023 г.;
рекомендована к печати 10 октября 2023 г.

Контактная информация:

Кассаб Дима Халед Ибрагим — аспирант; Dimakk87@gmail.com
Камышанская Ирина Григорьевна — д-р мед. наук, доц.; irinaka@mail.ru
Трухан Станислав Вячеславович — stas.truhan@gmail.com
Ладогубец Наталья Александровна — natalia-ladogubets@mail.ru

Accuracy of a new intellectual method in measuring Cobb's angle on spinal radiographs and the possibility of its clinical application

D. Kh. I. Kassab¹, I. G. Kamyshanskaya^{1,2}, S. V. Trukhan³, N. A. Ladogubets¹

¹ St. Petersburg State University,
7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² St. Petersburg City Mariinsky Hospital,
56, Liteynii pr., St. Petersburg, 191014, Russian Federation

³ LLC “Esper”,
24, ul. Uspenskaia, Krasnogorsk, 143409, Russian Federation

For citation: Kassab D. Kh. I., Kamyshanskaya I. G., Trukhan S. V., Ladogubets N. A. Accuracy of a new intellectual method in measuring Cobb's angle on spinal radiographs and the possibility of its clinical application. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2023, vol. 18, issue 3, pp. 293–303. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.305> (In Russian)

Cobb's angle is until now considered the gold standard method for measuring the angle of scoliosis. The subjectivity of this method has always been its main disadvantage. The aim of this work is to evaluate a new system (computer program) “Esper.Scoliosis”, based on artificial neural networks that can measure Cobb's angle automatically on frontal radiographs. We compared the angles measured by the automatic system with measurements of a radiologist using a testing set of 114 digital X-rays with variable grades of scoliosis. In 84.8% of scoliotic curvatures detected by the system, no significant measurement variability (<2,5°) of the angles was found between the two methods. The system shows better results in X-rays with scoliosis grades 1 and 2. In our work, image quality has the largest effect on accuracy of the system and measurement's variability. We concluded that controlled clinical use of “Esper.Scoliosis” for automatic Cobb's angle measurement is recommended.

Keywords: scoliosis, radiographs, artificial intelligence, spine, artificial neural networks.

References

1. Negrini S., Donzelli S., Aulisa A.G., Czaprowski D., Schreiber S., de Mauroy J.C., Diers H., Grivas T.B., Knott P., Kotwicki T., Lebel A., Marti C., Maruyama T., O'Brien J., Price N., Parent E., Rigo M., Romano M., Stikeleather L., Wynne J., Zaina F. 2016 SOSORT guidelines: orthopedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 2018, vol. 13, no. 3. <https://doi.org/10.1186/s13013-017-0145-8>
2. Ketenci İ.E., Yanik H.S., Erdoğan Ö., Adıyeke L., Erdem Ş. Reliability of 2 Smartphone Applications for Cobb Angle Measurement in Scoliosis. *Clin. Orthop. Surg.*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 67–70.
3. Briganti G., Le Moine O. Artificial intelligence in medicine: Today and Tomorrow. *Front. Med.*, 2020, vol. 5, pp. 7–27.
4. Amisha, Malik P., Pathania M., Rathaur V.K. Overview of artificial intelligence in medicine. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 2019, vol. 8, no. 7, pp. 2328–2331.
5. Rong L. A. Review of medical artificial intelligence. *Global Health Journal*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 42–45.
6. Huang J., Li J., Li Z., Zhu Z., Shen C., Qi G., Yu G. Detection of diseases using machine learning image recognition technology in artificial intelligence. *Computational Intelligence Neuroscience*, 2022, April 13. <https://doi.org/10.1155/2022/5658641>
7. Gusev A. V. Prospects for neural networks and deep machine learning in creating health solutions. *Information technologies for the Physician*, 2017, no. 3, pp. 92–105. (In Russian)
8. *Orthopedics: clinical guidelines*, ed. by S.P.Mironov. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2018, 784 p. (In Russian)

Received: March 28, 2023
Accepted: October 10, 2023

Authors' information:

Dima K. I. Kassab — Postgraduate Student; Dimakk87@gmail.com

Irina G. Kamyshanskaya — Dr. Sci. in Medicine, Associate Professor; irinaka@mail.ru

Stanislau V. Trukhan — stas.truhan@gmail.com

Natalia A. Ladogubets — natalia-ladogubets@mail.ru