



УДК 612.763

Оценка осанки школьников с применением видеоанализа движений, выделением параметров анатомических точек и критической длительности поз

А. Е. Рытова^{1,2}, М. Н. Петров¹, С. С. Симаков¹, А. В. Дубоделов²,
Д. Л. Дьяченко², Я. Р. Бравый³, Д. А. Онищенко³

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт», г. Долгопрудный, Московская область, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «Акселерейшн Диджитал», Москва, Россия

³ Автономная Некоммерческая Образовательная организация Высшего Образования "Научно-Технологический Университет «Сириус», пгт.Сириус, Краснодарский край, Россия

Аннотация

В данной статье рассматривается разработка и внедрение алгоритма для автоматического анализа осанки школьников с использованием видеозаписей. Цель исследования — создать эффективный инструмент, позволяющий выявлять нарушения осанки с помощью биомеханических признаков, таких как угол наклона плеч и головы, расстояние между анатомическими точками и другие параметры. Алгоритм включает использование нейронной сети BlazePose для извлечения ключевых точек тела, идентификацию нерелевантных кадров и анализ временных рядов данных. Методология исследования базируется на применении методов компьютерного зрения и анализе биомеханических признаков, с последующей визуализацией данных и созданием автоматизированных отчетов в HTML формате. Результаты показывают, что предложенный алгоритм способен эффективно идентифицировать отклонения в осанке, предоставляя визуальную обратную связь для профилактики и коррекции возможных нарушений. Автоматизация процесса позволяет осуществлять массовый мониторинг состояния осанки школьников и способствует предотвращению развития хронических заболеваний опорно-двигательной системы.

Ключевые слова: биомеханика, компьютерное зрение, мониторинг осанки, распознавание позы, анализ позы

Evaluation of student's posture using motion video analysis, extraction of anatomical point parameters, and critical duration of postures

A. E. Rytova^{1,2}, M. N. Petrov¹, S. S. Simakov^{1,3}, A. V. Dubodelov²,
D. L. Dyachenko², Y. R. Bravy³, D. A. Onishchenko³

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Institute of Physics and Technology Dolgoprudny, Moscow Region, Russia

² Acceleration Digital Limited Liability Company, Moscow, Russia

³ Autonomous Non-Profit Educational Organization of Higher Education "Sirius University of Science and Technology village Sirius, Krasnodar Territory, Russia

Abstract

This article discusses the development and implementation of an algorithm for the automatic analysis of schoolchildren's posture using video recordings. The study aims to create an effective tool for detecting posture deviations through biomechanical features, such as shoulder and head tilt angles, distances between anatomical points, and other parameters. The algorithm involves the use of the BlazePose neural network for extracting body key points, identifying irrelevant frames, and analyzing time-series data. The research methodology is based on the application of computer vision techniques and biomechanical feature analysis, followed by data visualization and automated report generation. The results demonstrate that the proposed algorithm effectively identifies posture deviations, providing visual feedback for the prevention and correction of potential disorders. The automation of the process enables large-scale monitoring of schoolchildren's posture and contributes to the prevention of chronic musculoskeletal disorders.

Keywords: biomechanics, computer vision, posture monitoring, pose recognition, posture analysis

Введение

Современная цифровая эпоха в значительной степени повлияла на образ жизни школьников. Растущая зависимость от использования электронных устройств, особенно среди школьников, приводит к увеличению случаев неправильной осанки, что может негативно сказываться на состоянии опорно-двигательной системы и повлиять на качество жизни в долгосрочной перспективе. В условиях ограниченных ресурсов для регулярного мониторинга состояния осанки у школьников, актуальной задачей становится разработка автоматизированных решений для диагностики и профилактики нарушений осанки. В данном исследовании представлено решение, основанное на методах анализа видеозаписей с использованием компьютерного зрения, для оценки осанки школьников и выявления возможных отклонений. Существует множество исследований, посвященных проблемам

с опорно-двигательной системой. В обзоре Young и соавторов [1] проводится систематический анализ последствий использования электронных устройств для состояния опорно-двигательной системы у подростков. Их результаты показывают, что неправильная осанка и статические позы во время работы за компьютером или смартфоном значительно увеличивают риск развития хронических заболеваний. Исследование Nakala и соавторов [2] подтверждает наличие связи между интенсивностью использования компьютера и болевыми ощущениями в области спины и шеи у подростков, что подчеркивает необходимость своевременной диагностики и профилактики таких состояний.

Кроме того, различные технологии и алгоритмы уже применялись для контроля состояния опорно-двигательной системы. Например, платформа Musculus.ai предлагает инструменты анализа осанки и биомеханических параметров с использованием искусственного интеллекта, что позволяет диагностировать нарушения осанки и рекомендовать упражнения для их коррекции. Решение Fora.vision специализируется на мониторинге активности и осанки с помощью камер и алгоритмов машинного обучения, предоставляя рекомендации в режиме реального времени. Петров и соавторы [3] предложили аппаратно-программный комплекс, использующий алгоритмы машинного обучения для контроля выполнения спортивных упражнений и диагностики заболеваний. Этот подход демонстрирует высокую эффективность в оценке биомеханических параметров и коррекции движений, что может быть полезно для решения задачи мониторинга осанки. Модель BlazePose, используемая в настоящем исследовании, уже применялась в задачах оценки биомеханических характеристик. BlazePose анализирует изображение и определяет координаты анатомических точек тела. Mundt и соавторы [4] сравнили различные алгоритмы анализа позы, включая AlphaPose, BlazePose и OpenPose, и показали, что BlazePose обладает хорошей точностью в оценке ключевых точек тела и позволяет получать адекватные биомеханические признаки. Эти данные подтверждают возможность использования BlazePose для мониторинга осанки школьников в рамках автоматизированного анализа видеозаписей.

На основе приведенного обзора литературы можно сделать вывод, что проблема неправильной осанки у школьников требует дальнейшего изучения и разработки удобных для применения инструментов мониторинга. В данном исследовании предполагается использовать метод видеозаписи и алгоритмы компьютерного зрения для мониторинга состояния осанки школьников, что позволит выявлять отклонения на ранних стадиях и предупреждать развитие хронических заболеваний. В исследовании разрабатываются и тестируются алгоритмы для автоматизированного анализа осанки школьников с применением методов компьютерного зрения и биомеханических признаков на основе видеозаписей. Основное внимание уделяется анализу следующих ключевых показателей: угол наклона головы, угол наклона плеч, ось симметрии между головой и плечами, расстояние от глаз до монитора, расстояние от рта до линии плеч, расстояние от глаз до линии плеч, расстояние между плечами, а также подъем или опускание подбородка. Эти показатели позволяют оценивать правильность положения тела школьников в течение длительного времени при работе за компьютером. Исследование включает создание и обработку модельного видео, которое помогает установить начальное правильное положение тела. Алгоритм обеспечивает сбор данных о положении головы и плеч на основе координат ключевых точек тела, извлеченных с помощью BlazePose. Эти данные затем используются для расчета биомеханических признаков, которые позволяют определить, насколько осанка соответствует установленным нормативам.

Таким образом, целью исследования является комплексная оценка осанки школьников с использованием биомеханических показателей, извлеченных из видеозаписей. Такой алгоритм позволяет не только выявлять текущие отклонения, но и прогнозировать потенциальные проблемы с осанкой, что делает разработанную систему полезным инструментом для профилактики заболеваний опорно-двигательной системы у школьников.

Методы

Методология исследования

Исследование базируется на применении методов компьютерного зрения для автоматизированного анализа видеозаписей. Используется модель BlazePose, которая определяет координаты ключевых точек тела, такие как глаза, плечи и рот. На основе этих данных рассчитываются биомеханические признаки, которые позволяют выявлять нарушения осанки. Для анализа временных рядов данных применяются фильтры сглаживания и методы интерполяции, а для визуализации результатов используется библиотека Matplotlib.

Алгоритм проведения исследования

Первым этапом алгоритма (рис. 1) является предварительная обработка видео. Она включает в себя загрузку и чтение видео, а также прореживание кадров. Прореживание кадров означает, что обрабатывается каждый n -й кадр (например, каждый 5-й или 10-й в зависимости от частоты кадров и длины видео). Прореживание кадров делается для оптимизации скорости обработки, а потеря точности при этом минимальна.

Далее, с помощью алгоритма BlazePose, производится извлечение ключевых точек тела. Модель с настройкой `model_complexity = 2` представляет собой наиболее сложную конфигурацию, которая обеспечивает высокую точность за счёт увеличенного количества параметров и вычислительных ресурсов. Значение параметра `min_detection_confidence = 0.3` было выбрано для обеспечения устойчивого обнаружения поз в условиях возможного снижения качества видеозаписей (например, при низком разрешении или плохом освещении). Модель анализирует изображение и определяет координаты анатомических точек тела. Нормализованные координаты преобразуются в пиксельные координаты с учетом разрешения изображения. Данное преобразование позволяет использовать координаты для вычисления расстояний и углов в пиксельных значениях.

На основе координат ключевых точек рассчитываются биомеханические признаки с использованием методов линейной алгебры. Угол между плечами определяется как угол между горизонтальной осью и вектором, соединяющим правое и левое плечо. Наклон головы рассчитывается как угол между горизонтальной осью и вектором, соединяющим внешние углы глаз. Расстояние между ключевыми точками вычисляется как расстояние между двумя точками. Затем это расстояние переводится из пикселей в сантиметры с использованием эмпирических коэффициентов пересчета. Было снято модельное видео, из которого были получены эти коэффициенты. Расстояние между плечами рассчитывается как расстояние между точкой левого плеча и точкой правого плеча. Расстояние между глазами - соответственно расстояние между точкой внешнего угла левого глаза и точкой внешнего угла правого глаза. Расстояние от линии глаз до линии плеч - расстояние от точки "середина между глазами" до точки "середина между плечами". Расстояние от линии

рта до линии плеч - расстояние от точки “центр рта” до точки “центр между плечами”. Расстояние до монитора оценивается на основе расстояния между глазами, преобразованного в физические единицы с использованием известных размеров анатомических структур. Ось симметрии определяется как угол между векторами “середина между глазами - середина между плечами - левое плечо”.

Критерии нарушений осанки:

- Угол наклона головы в сторону относительно горизонтальной линии. Изменение угла более 5 градусов непрерывно в течении 4 минут – нарушение положения головы. Если сохранение отклонение угла суммарно более 7 минут за 10 минут – нарушение положения головы.
- Угол наклона плеч относительно горизонтальной линии. Накопительное отклонение за время 10 минут суммарно более 3 минут (отклонение в 5 градусов сохраняется не менее 1 минуты) - нарушение осанки. Изменение угла более 7 градусов непрерывно на протяжении 6 минут - нарушение осанки.
- Ось симметрии между головой и плечами. Отклонение угла более 8 градусов в течение 1 минуты непрерывно - нарушение осанки. Если угол отклоняется от нормы более чем на 8 градусов, и в пределах 10 минут записи такие отклонения накапливаются суммарно до 4,5 минут (при этом каждое отклонение длится не менее 1 минуты) - нарушение осанки.
- Расстояние между глазами и монитором. Отклонение расстояния на менее чем 3 см суммарно более 5 минут за 10 минут (при этом каждый эпизод длится не менее 0,5 минуты) - нарушение осанки. Если отклонение сохраняется более 3 минут непрерывно - нарушение осанки.
- Расстояние между плечами. Уменьшение или увеличение линии на 5 см в течении 3 минут непрерывно - нарушение осанки (сутулости). Если уменьшение/увеличение расстояния накапливается до 8 минут в течение 15 минут наблюдения (при этом каждый эпизод уменьшения составляет не менее 1 минуты) - нарушение осанки.
- Подъем или опускание подбородка. Уменьшение расстояния на 5 см в течении 1,5 - 3 мин непрерывно – нарушение осанки (сутулости). Если в течение 15 минут общая сумма отклонений достигает 10 минут, и каждый эпизод составляет минимум 1 минуту - нарушение осанки.

Для получения более стабильных значений признаков и сглаживания временных рядов применяется фильтр Гаусса. Чтобы определить моменты, когда значения признаков выходили за пределы допустимых диапазонов, применяется линейная интерполяция. Она позволяет точно находить точки пересечения данных с пороговыми значениями. Пороговые значения определены специалистами-физиологами. Во время анализа исключаются кадры, которые не соответствуют критериям релевантности. Например, если человек отворачивается от экрана, встает или полностью изменяет позу, такие кадры помечаются как нерелевантные. Для определения таких моментов используются пороговые значения отклонений углов и расстояний. Все нерелевантные кадры удаляются из дальнейшего анализа, чтобы минимизировать искажение данных.



Рис. 1: Блок-схема алгоритма исследования.

Для визуального представления данных используется библиотека Matplotlib. На графиках (рис. 2, 3) отображаются сырые и сглаженные данные, пороговые значения и участки отклонений. Для наглядной демонстрации отклонений автоматически извлекаются кадры из видео. На этих кадрах выделяются ключевые точки, соединенные линиями, и подписываются углы и расстояния. Это позволяет получить визуальные примеры нарушений позы.

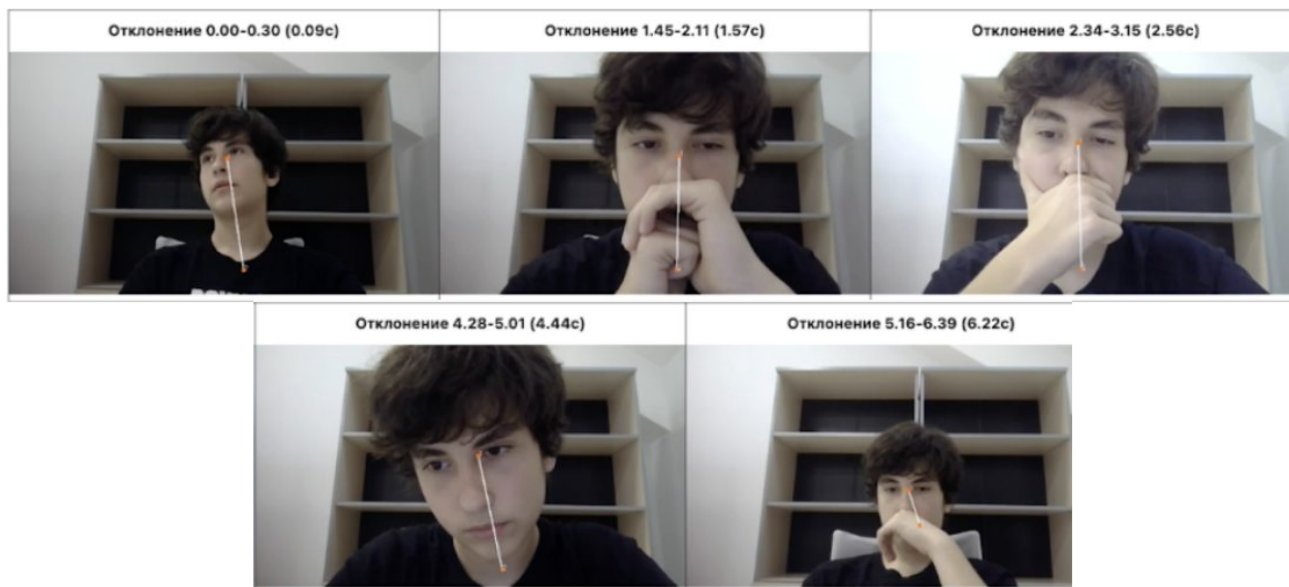


Рис. 2: Пример признака оценки состояния осанки по видеозаписи.



Рис. 3: График зависимости расстояния от линии глаз до линии плеч от времени, на котором красным отмечены области, которые находятся вне диапазона допустимых значений признака. Зеленая полоса - диапазон допустимых значений; Серые области - нерелевантные.

На основе пороговых значений и результатов интерполяции анализируются временные интервалы с нарушениями. Чтобы глубже понять динамику отклонений, код использует анализ скользящих окон. Это метод, при котором окно анализа перемещается по временной шкале с фиксированным шагом, и для каждого окна вычисляются статистики, такие как суммарное время отклонений и интенсивность отклонений. Такая методика позволяет отследить как кратковременные, так и накопительные отклонения от нормальных значений.

Для оценки качества алгоритма выявления отклонений в осанке была введена метрика IoU (1). Данная метрика широко используется в задачах классификации и сегментации данных, где важно оценить степень совпадения предсказанных и истинных интервалов отклонений.

IoU рассчитывается как отношение длины пересечения интервалов отклонений к длине их объединения:

$$\text{IoU} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

где A – это интервалы отклонений, предсказанные алгоритмом. B – это истинные интервалы отклонений, размеченные вручную.

IoU = 1.0 указывает на полное совпадение предсказанных и истинных интервалов. IoU = 0 означает, что предсказания алгоритма и истинные интервалы полностью не совпадают. Метрика IoU была выбрана, поскольку она позволяет объективно измерять точность модели в условиях, где важно учитывать как пропущенные отклонения, так и лишние предсказания. Данная метрика позволяет учитывать как ложные срабатывания (false positives), так и пропуски (false negatives), что делает её подходящей для анализа временных интервалов отклонений в осанке.

Для расчёта IoU в рамках данной работы истинные интервалы были заданы вручную на основе видеоматериала, а предсказанные интервалы определялись алгоритмом на основе анализа параметров осанки.

Результаты

На основе предложенных экспертами норм и пороговых значений для каждого признака были выделены интервалы отклонений от нормы. Эти интервалы сопоставлялись с размеченными вручную истинными интервалами для оценки точности алгоритма.

Для оценки качества алгоритма была использована метрика IoU. Она оценивала степень совпадения предсказанных интервалов с истинными. Полученные значения метрик отображены в [Таблице 1](#). Метрики рассчитывались для каждого признака на 3 видеозаписях. На этих видеозаписях школьник сидит напротив монитора, запись идет на фронтальную камеру компьютера. В таблице приведены значения метрики IoU (Intersection over Union), показывающие степень совпадения предсказанных интервалов отклонений алгоритмом с истинными интервалами, размеченными вручную. - означает, что отклонений не обнаружено.

Среднее значение IoU для всех признаков составило 0.86, что указывает на высокую точность алгоритма. Таким образом, разработанный алгоритм показал высокую эффективность и может быть использован для автоматизированного анализа осанки в реальных условиях.

Использование модели BlazePose отличается от аналогов, таких как AlphaPose или OpenPose, благодаря меньшей вычислительной сложности при сохранении высокой точности. Это делает предложенный алгоритм более применимым для массового мониторинга. Применение метрики IoU для оценки точности алгоритма является уникальным подходом в задаче анализа осанки, что позволяет объективно измерить совпадение предсказанных и истинных интервалов отклонений. Разработанная методика ориентирована на использование в образовательных учреждениях и позволяет проводить массовый мониторинг состояния

осанки школьников, что отличает её от существующих решений, ориентированных на индивидуальное применение.

Таблица 1: Результаты анализа качества алгоритма для автоматического обнаружения нарушений осанки по различным биомеханическим признакам.

Признак/ видео	Угол между плечами	Расст. между плечами
1	-	0.82
2	-	-
3	-	-
Наклон головы	Расст. от линии глаз до плеч	Ось симметрии
0.85	0.87	0.82
-	-	0.80
0.83	-	-
Расст. между глазами	Расст. от глаз до монитора	Подъем/ опускание подбородка
0.83	0.91	0.82
-	0.86	-
-	-	-

Сравнение с аналогами демонстрирует, что разработанный алгоритм превосходит существующие решения по точности, степени автоматизации и возможности применения в массовом мониторинге. Например, платформа Musculus.ai предоставляет инструменты анализа осанки, но фокусируется на индивидуальной коррекции, тогда как предложенный алгоритм ориентирован на массовое использование. Решение Foga.vision также специализируется на мониторинге активности и осанки, но не включает полноценный анализ временных рядов данных, что ограничивает его применение в задачах долгосрочного наблюдения. Также оба эти решения ориентированы на анализ физических упражнений. В отличие от аппаратно-программного комплекса Петрова и соавторов, разработанный алгоритм адаптирован для анализа осанки школьников в повседневных условиях.

Обсуждение результатов

Результаты, полученные в ходе исследования, демонстрируют высокую точность алгоритма для автоматизированного анализа осанки школьников. Среднее значение метрики IoU составило 0.86, что указывает на высокую степень совпадения предсказанных интервалов отклонений с истинными. Однако следует отметить несколько пробелов в исследовании: отсутствие реального времени, что ограничивает его применение для задач, требующих анализа в реальном времени. И отсутствие учёта возрастных и физиологических различий – алгоритм не учитывает индивидуальные особенности школьников, такие как рост, телосложение и возраст, что может снижать точность анализа.

В дальнейшей работе планируется:

- усовершенствование алгоритма для обработки сложных динамических признаков.
- расширение набора метрик для анализа качества;
- разработка более сложных методов для идентификации и исключения нерелевантных кадров;
- возможно, с использованием алгоритмов глубинного обучения;
- адаптация алгоритма для применения в реальном времени с использованием более производительных моделей или оптимизацией существующих;
- проведение более широкого тестирования на выборках с разнообразными условиями съемки и позами участников.

Заключение

В данной работе представлен алгоритм для автоматизированного анализа осанки на основе видеogramм с использованием анализа ключевых точек тела. Разработанная методика позволяет выявлять отклонения от нормы в таких биомеханических признаках, как угол наклона плеч, расстояние между плечами, угол наклона головы, расстояние от рта до линии плеч, расстояние от линии глаз до линии плеч, расстояние между глазами, расстояние от лица до монитора, ось симметрии.

Для оценки качества работы алгоритма была использована метрика IoU, которая показала высокую точность предсказаний. Среднее значение IoU составило 0.86. Это демонстрирует минимальное расхождение между предсказанными и истинными интервалами нарушений.

Предложенный методологический подход демонстрирует потенциал для масштабирования и интеграции в системы мониторинга здоровья, что делает его перспективным для внедрения в практическое использование.

Список литературы

1. *Young J., Snell M., Robles O., Kelso J., Kammitis A., Cloutier N., Cloutier N., DeVries A., Mani, K.* Effects of Electronic Usage on the Musculoskeletal System in Adolescents and Young Adults: A Systematic Review // *Journal of Musculoskeletal Disorders and Treatment*. 2022. Vol. 8. No 2. P. 114. DOI: <https://doi.org/10.23937/2572-3243.1510114> EDN: <https://www.elibrary.ru/rnheck>
2. *Hakala P.T., Saarni L.A., Punamäki R.L., Wallenius M.A., Nygård C.H.* Musculoskeletal symptoms and computer use among Finnish adolescents-pain intensity and inconvenience to everyday life: a cross-sectional study // *BMC musculoskeletal disorders*. 2012. Vol. 13. Article number 41. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-41> EDN: <https://www.elibrary.ru/dupqpv>
3. *Петров М.Н., Книга А.А., Дьяченко Д.Л., Дубоделов А.В., Симаков С.С.* Контроль выполнения спортивных упражнений и диагностики заболеваний опорно-двигательной системы с помощью аппаратно-программного комплекса и алгоритмов машинного обучения // *Российский журнал информационных технологий в спорте*. 2024. № 1. С. 8-12. DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2024-1-1-9-12> EDN: <https://elibrary.ru/qgawoo>

4. Mundt M. Born Z., Goldacre M., Alderson J. Estimating ground reaction forces from two-dimensional pose data: a biomechanics-based comparison of alphapose, blazepose, and openpose //Sensors. 2022. Vol. 23. No 1. P. 78. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23010078> EDN: <https://www.elibrary.ru/szkvnz>

Сведения об авторах

Рытова Алёна Евгеньевна – кафедра вычислительной физики Московского физико-технического института, г. Долгопрудный Московской области.

E-mail: rytova.ae@phystech.edu

Петров Михаил Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра вычислительной физики Московского физико-технического института, г. Долгопрудный Московской области.

E-mail: mikhail.petrov@phystech.edu

Симаков Сергей Сергеевич – доктор физико-математических наук, доцент, кафедра вычислительной физики Московского физико-технического института, г. Долгопрудный Московской области.

E-mail: simakov.ss@phystech.edu

Дубоделов Артем Викторович – ООО «Акселерейшн Диджитал», Москва.

E-mail: a.dubodelov@acceleration.ru

Дьяченко Дмитрий Львович – ООО «Акселерейшн Диджитал», Москва.

E-mail: d.dyachenko@acceleration.ru

Бравый Ян Робертович – Научный центр генетики и наук о жизни Научно-технологического университета «Сириус», пгт. Сириус, Краснодарский край.

E-mail: brave.yr@talantiuspeh.ru

Онищенко Дмитрий Александрович – кандидат биологических наук, Научный центр генетики и наук о жизни Научно-технологического университета «Сириус», пгт. Сириус, Краснодарский край.

E-mail: onischenko.da@talantiuspeh.ru

Для цитирования:

Рытова А.Е., Петров М.Н., Симаков С.С., Дубоделов А.В., Дьяченко Д.Л., Бравый Я.Р., Онищенко Д.А. Оценка осанки школьников с применением видеоанализа движений, выделением параметров анатомических точек и критической длительности поз // Российский журнал информационных технологий в спорте. – 2024. – Т. 1, № 3. – С. 37–48. DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2024-1-3-37-48> EDN: KEPUDZ

Cite as:

Rytova A.E., Petrov M.N., Simakov S.S., Dubodelov A.V. Dyachenko D.L., Bravy Y.R. Onishchenko D.A. Evaluation of student's posture using motion video analysis, extraction of anatomical point parameters, and critical duration of postures. *Russian Journal of Information Technology in Sports*, 2024, 1(3), pp. 37–48 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2024-1-3-37-48> EDN: KEPUDZ

Статья поступила в редакцию: 19.11.2024

Статья принята в печать: 25.12.2024

Статья опубликована: 27.12.2024