

7. Winter J., Glaser M., Heinzel-Gutenbrunner M., Pieper K. Association of caries increment in preschool children with nutritional and preventive variables. Clin. Oral. Investig. – 2015. – № 1.
8. Ulitovsky S.B. New approaches to caries prevention // Clinical dentistry. – 2014. – № 4. – pp. 20-24.
9. Lukinykh L.M. The role and importance of oral hygiene // Materials of the XII and XIII All-Russian scientific and practical conferences and Proceedings of the IX Congress of STAR. – М., 2004. – pp. 334-336.
10. Salakhov A.K., Ksembaev S.S., Salakhova K.A., Shtaeva N.V., Anokhina A.V. Toothbrush-massager for children //Utility model patent No. 215339 – Application No. 2022128180, 10/31/2022 – published 12/08/2022 Bull. № 34.

УДК: 004.93

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ КООРДИНАЦИИ ПО ДАННЫМ ВИДЕОФИКСАЦИИ

Смирнова В.В., директор ООО «ЛеонРод»;

ORCID: 0000-0002-1107-2152;

E-mail: yaikovavictoriya@mail.ru;

Семенова Е.В., программист ООО «ЛеонРод»;

ORCID: 0000-0001-8257-0610;

E-mail: s55.55.s@yandex.ru;

Самигуллин Б.Р., директор ООО «НейроСтарт»;

ORCID: 0000-0002-5654-415X;

E-mail: info@neurostart.pro;

Саченков О.А., к.н., доцент, заведующий кафедрой компьютерной математики и информатики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

ORCID: 0000-0002-8554-2938;

E-mail: 4works@bk.ru

AUTOMATIC ASSESSMENT OF STATIC COORDINATION BASED ON VIDEO DATA

Smirnova V.V., director, LeonRod LLC;

ORCID: 0000-0002-1107-2152;

E-mail: yaikovavictoriya@mail.ru;

Semenova E. V., programmer, LeonRod LLC;

ORCID: 0000-0001-8257-0610;

E-mail: s55.55.s@yandex.ru;

Samigullin B.R., director, NeuroStart LLC;

ORCID: 0000-0002-5654-415X;

E-mail: info@neurostart.pro;

Sachenkov O.A., head of the Department of Computer Mathematics and Informatics, candidate of science associate professor, N.I. Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;

ORCID: 0000-0002-8554-2938;

E-mail: 4works@bk.ru

Аннотация

В обычных условиях движение человеческого тела характеризуется симметрией, где позвоночник играет роль центральной оси, а мышцы, кости и нервы расположены с обеих сторон симметрично. Однако при длительном и монотонном воздействии на позвоночник, нарушающем его симметрию, появляется нестабильность его положения и нарушается правильное положение тела.

Диагностика заболеваний опорно-двигательного аппарата – актуальная проблема медицины. Неправильное позиционирование тела в пространстве проявляется как в движении, так и в статике. Целью данного исследования является создание программно-аппаратного комплекса для определения симметрии тела, подвижности в суставах и конечностях. Такие данные способствуют не только диагностике заболевания, но и помогают отслеживать результаты лечения, позволяя корректировать терапию для достижения наилучших результатов. Несмотря на то, что в данной статье акцент сделан на применение в медицинской практике, данный подход применим и для спортсменов, так как в этой сфере также существует необходимость определения качества движения и правильности выполнения упражнений, отслеживания результативности тренировок.

В качестве примера в данной статье рассмотрены два варианта проведения тестов на статическую координацию: положение стоя с опущенными руками и тест Ромберга. Упражнения были записаны на цифровую видеокамеру, а данные видеофиксации обработаны программным комплексом. Программа определяет на видеоряде контуры человека, находит на каждом фрейме опорные точки и линии. Отслеживая их взаимное расположение, можно говорить о количественной оценке положения тела в данный момент времени. Отслеживание изменения от фрейма к фрейму, позволяет оценить качество движения. Программа позволяет наглядно убедиться в наличии или отсутствии проблем симметрии и подвижности тела, а также сравнивать результаты одного испытуемого на протяжении всего процесса реабилитации.

Данная программа – первый шаг в создании комплекса по оценке качества движения, включающего анализ как статических, так и динамических тестов.

Abstract

Under normal conditions, the movement of the human body is characterized by symmetry, where the spine plays the role of the central axis, and muscles, bones and nerves are symmetrically located on both sides. However, with prolonged and monotonous impact on the spine, breaking its symmetry, instability of its position appears and the correct position of the body is disturbed.

Diagnosis of diseases of the musculoskeletal system is an actual problem of medicine. Incorrect positioning of the body in space is manifested both in motion and in statics. The purpose of this study is to create a hardware-software complex to determine the symmetry of the body, mobility in joints and limbs. Such data not only helps to diagnose the disease, but also helps to monitor the results of treatment, allowing to adjust therapy to achieve the best results. Despite the fact that this article focuses on medical applications, this approach is also applicable to athletes, as in this field there is also a need to determine the quality of movement and correctness of exercise performance, tracking the effectiveness of training.

As an example, this article considers two variants of static coordination tests: standing position with arms down and Romberg test. The exercises were recorded on a digital video camera, and the video data were processed by a program complex. The program defines human contours on the video sequence, finds reference points and lines on each frame. Tracking their mutual location, it is possible to speak about quantitative estimation of the body position at the given moment of time. Tracking the changes from frame to frame allows you to assess the quality of movement. The program allows you to visually verify the presence or absence of symmetry and body mobility problems, as well as to compare the results of one subject throughout the rehabilitation process.

This program is the first step in the creation of a complex for assessing the quality of movement, including the analysis of both static and dynamic tests.

Ключевые слова: видеоанализ, машинное обучение, компьютерное зрение, двигательная диагностика, биомеханика, сколиоз

Keywords: video analysis, machine learning, computer vision, motor diagnostics, biomechanics, scoliosis

1. Введение

Нарушение осанки – распространенная проблема, затрагивающая людей всех возрастов, которая зачастую приводит к снижению качества жизни. Простые в использовании и надежные инструменты оценки осанки могут помочь выявить отклонения осанки на ранней стадии. В данном исследовании описывается методика статической оценки осанки на основе данных с цифровых видеокамер для выявления распространенных аномалий осанки.

Искривление и скручивание позвоночника влечет серьезные проблемы для здоровья и общего самочувствия человека. Сколиоз, развитый в детском или подростковом возрасте, протекает в легкой форме, и как правило, при своевременном обращении к врачу корректируется специализированными медицинскими корсетами, лечебной гимнастикой и массажем. Во взрослом возрасте изменение уровня плеч и положения таза сопровождаются болезненными ощущениями и затрудненными движениями. Игнорирование заболевания в 50% случаев приводит к прогрессированию сколиоза [1].

Таз, представляющий собой основополагающий и биомеханически значимый компонент опорно-двигательного аппарата, расположен между осевым скелетом и нижними конечностями, обеспечивая поддержание статического и динамического равновесия тела. [2] Помимо трех позвоночных сегментов вращения (шейного, грудного и поясничного), таз служит четвертой плоскостью вращения при сколиозе [3]. У пациентов с идиопатическим сколиозом нестабильность одного из этих сегментов компенсируется адаптацией других, восстанавливая тем самым равновесие позвоночного столба. Изменения в тазовом наклоне и вращении, представляющие собой движение таза в пространстве, существенно влияют на общее равновесие тела [4].

Для предотвращения описанных последствий необходима своевременная диагностика заболевания и реабилитационные действия. Есть несколько подходов к диагностике сколиоза. Основной подход на сегодняшний день – это личный осмотр пациента. При обследовании спины пациента с подозрением на сколиоз, эксперт должен проверить плечи и бедра на наличие асимметрии. Значительное различие в длине ног можно быстро определить, ощутив верхние точки подвздошных гребней или уровень поясничных впадин. Классический скрининговый тест на сколиоз (тест Адамса) проводится, когда пациент наклоняется вперед в талии с прямыми коленями, врач стоит за его спиной и смотрит вдоль горизонтальной плоскости позвоночника, выявляя отклонения в изгибе позвоночника и оценивая угол поворота туловища [5].

Далее выполняется проверка походки, формы стопы, осмотр кожи, неврологическое обследование, включая двигательные, сенсорные и рефлекторные тесты. Для более детального осмотра проводится рентгенография позвоночника, позволяющая оценивать структуру и соотношения позвонков. Измерение угла Кобба является количественным стандартом для распознавания и наблюдения симптомов у пациентов со сколиозом [6].

Благодаря активному развитию компьютерных технологий стал возможен топографический анализ тела – это визуализация и анализ внешних контуров туловища, обычно с задней стороны субъекта. Он успешно используется для оценки деформаций туловища у детей со сколиозом, где прослеживается взаимосвязь между углом искривления позвоночника и деформацией поверхности [7].

Объективная количественная оценка необходима для устранения субъективных мнений, а так же для количественной оценки изменений у пациентов, возникающих в результате терапевтического вмешательства, или для мониторинга прогрессирования нервно-мышечного состояния.

Системы 3д видеоанализа, основанные на захвате движения, являются дорогостоящими, и требуют четких протоколов по сбору и обработке данных, что делает их трудноприменимыми в клинической практике. Тем не менее, они остаются «золотым стандартом» для валидации других систем измерения [8, 9]. Наиболее практичным клиническим методом является использование видеозаписей, поскольку они требуют минимальной технической подготовки и подготовки пациента и могут использоваться для пациентов любого возраста и тяжести заболевания.

Целью данной работы является разработка методики и создание технологии для оценки статической координации пациентов, а также движения пациентов с различными заболеваниями двигательного аппарата, прогнозирования травм и анализа качества движения, связанных с асимметрией тела. Новым технологическим решением, лежащим в основе разработки, является объективизация методов анализа движения и проектирование программно-аппаратного решения при работе с изображениями, полученными с цифровых видеокамер.

В отличие от имеющейся технологии захвата движения и сопутствующих программных комплексов, основанной на съемке объекта инфракрасными камерами, данная методика имеет возможность доработки софта и протоколов для конкретных задач пользователя.

2. Материалы и методы

Процедура использования программно-аппаратного комплекса заключается в следующем: в соответствии с разработанными протоколами расставляются видеокамеры, и испытуемый ориентируется относительно них. Пациент или спортсмен выполняет ряд упражнений. Видеозапись с упражнением загружается в программный комплекс и в автоматическом режиме происходит объективизация и обработка видеозаписи.

2.1. Съемка

Производилась съемка группы студентов в помещении на однотонном фоне. Испытуемые выполняли набор упражнений по 40 секунд, которые фиксировались на камеру смартфона. Студенты были одеты в обтягивающую спортивную одежду, не сковывающую движения, босиком. Каждым студентом были выполнены следующие упражнения в положении стоя: руки вниз съемка со спины; руки вперед съемка сбоку.

2.2. Программа по обработке видеоданных

Создан программный комплекс по оценке видеозаписи в положении стоя спиной к камере и оценке удержания положения тела с вытянутыми руками боком к камере. Программный комплекс имеет понятный интерфейс, в котором происходит загрузка видеозаписи с возможностью обрезки для обработки значимого фрагмента. Видеофайл загружается в программу, где специалисту предлагается разметить первый кадр (выделить человека).

Распознавание объекта на изображении осуществляется с помощью предобученной нейронной модели для сегментации изображений. Данная модель поддерживает гибкие подсказки и выводит маски сегментации в реальном времени при появлении запроса на интерактивное использование Segment Anything (SAM) [10].

Далее осуществляется автоматический трекинг объекта. На каждом следующем кадре находится объект с характеристиками, определенными на первом кадре. Далее происходит построение скелета по данным видеофиксации; применение метода гониометрии для исследования подвижности суставов; построение ангулограмм; определение кинематических параметров, способствующих ускорить диагностику заболевания и индивидуализировать лечение и прочее. По полученным параметрам производится подсчет статистики (средние значения, стандартное отклонение). Выходными данными является Excel-файл, содержащий все расчетные параметры и статистику, и визуализация результатов, включающая в себя графики изменения параметров по времени и статистические данные (boxplot, матрицы корреляций и прочее).

После подсчета всех необходимых параметров производится статистическая обработка и сравнительный анализ данных результатов исследования испытуемых за разные периоды времени.

2.3. Тест 1

На рис. 1 представлена визуализация рассчитанных параметров первого теста – положение стоя, съемка со спины.

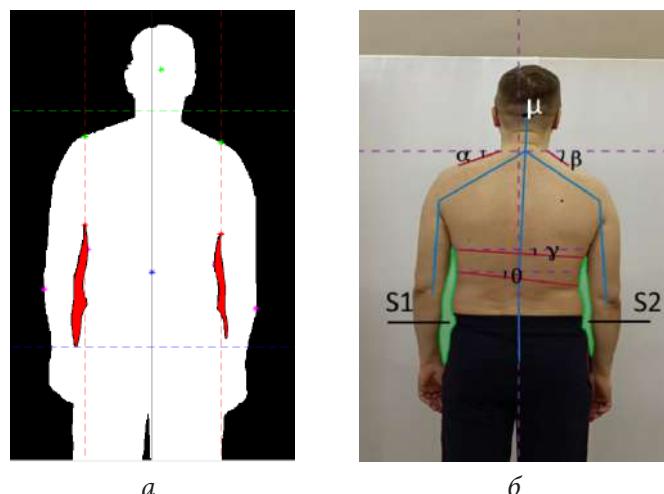


Рис. 1. *а* – разметка изображения: выделение головы, плеч, треугольников талии и центры масс объектов, *б* – выделение углов плеч, отклонение от вертикали, площади треугольников талии

Осуществляется детекция человека на выбранном фрейме и получение маски. Далее происходит выделение объектов: головы, рук, туловища и определение центров масс объектов для построения скелета, выделение треугольников талии. Осуществляется подсчет углов между линиями плеч и горизонталью (α , β), отклонение оси тела от вертикали (μ), угол отклонения подмышечных впадин (γ) и угол высоты талии, который определяется как угол между линией, соединяющей вершины вогнутости талии, и горизонтальной линией (θ), площади треугольников талии ($S1$, $S2$). Результаты автоматического определения параметров с шагом 5 секунд данных приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные углов, отмеченные на рис. 1

	α	β	γ	θ	μ	S1	S2
0 с	20,03	35,78	3,85	6,86	2,68	3861	2374
5 с	21,68	37,62	4,97	6,23	2,63	3928	2058
10 с	20,62	34,91	4,54	7,12	2,80	3926	2157
15 с	20,09	35,78	5,38	7,09	2,78	3892	2202
20 с	19,92	34,28	4,97	6,89	2,68	3931	2254
25 с	20,85	38,15	5,43	6,92	2,67	3893	2079
30 с	20,90	34,24	5,88	7,38	2,73	3952	2026
35 с	19,87	35,16	5,01	6,10	2,52	3832	2228

Данные результаты иллюстрируют обратную зависимость между площадью треугольников талии и углами между линиями плеч и горизонталью. Большой угол соответствует меньшей площади, так же наблюдается наклон корпуса в сторону большего плечевого угла (β) (рис. 2), угол наклона подмышечного угла (γ) и угол высоты талии (θ).

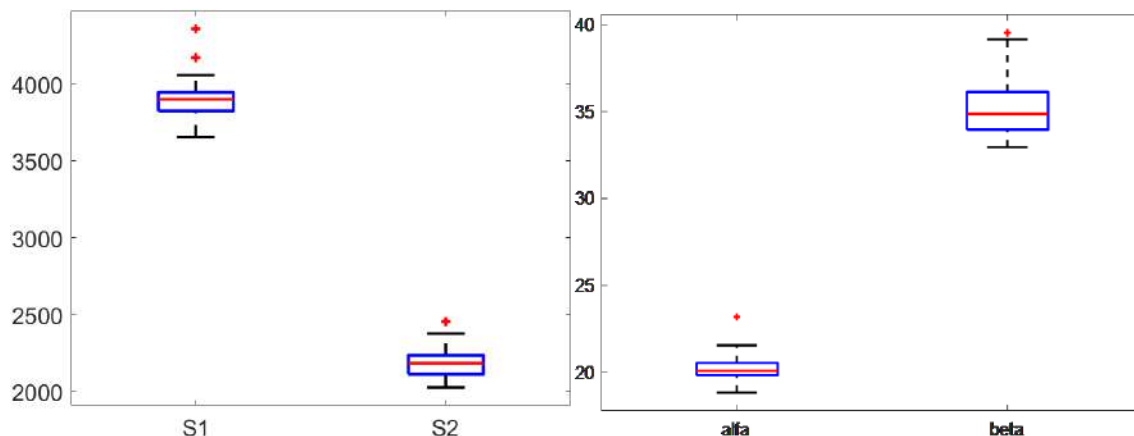


Рис. 2. Диаграмма размаха для площадей треугольников талии и плечевых углов

На рис. 3 представлена визуализация рассчитанных параметров второго теста – руки вытянуты вперед, положение стоя съёмка сбоку.

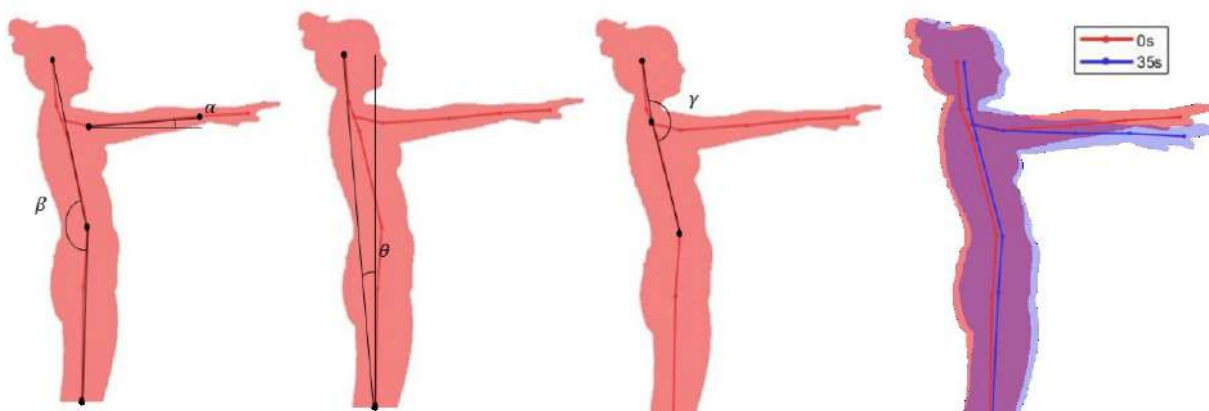


Рис. 3. Тест Ромберга

2.4. Тест 2

Для второго теста осуществляется проба Ромберга [11]. Пациенту в положении стоя предлагают закрыть глаза, ноги сдвинуть вместе, руки вытянуть вперед и в стороны, «растопырив» пальцы. В норме здоровый человек стоит в такой позе прямо, в патологических же случаях он отклоняется в сторону, шатается или падает.

Аналогично тесту 1 осуществляется детекция человека на выбранном фрейме и получение маски. Далее происходит разделение объектов: головы, рук, туловища и определение центров масс объектов для построения скелета. Осуществляется расчет угла в пояснице (β), отклонения от вертикали (θ), угла наклона головы относительно оси тела (γ) и угла между осью вытянутых рук и горизонталью (α). В табл. 2 приведены значения углов в начальный момент времени и через 35сек.

Таблица 2

Данные углов, отмеченные на рис. 3

	α	β	γ	θ
0 с	4.5	164.7	172.4	5.4
35 с	1.3	164.3	179.8	4.6

На рис. 3 представлены результаты изменения измеряемых углов относительно начального момента времени. Изменение угла α обусловлено слабостью мышц верхнего пояса, что приводит к быстрому утомлению и опусканию рук. Корпус стремится удержать начальное положение, поэтому подключаются мышцы спины, что приводит к изменению угла β . Угол θ колеблется около нуля, корпусу удастся держать изначальное положение, скомпенсировав положение изменением положения головы.

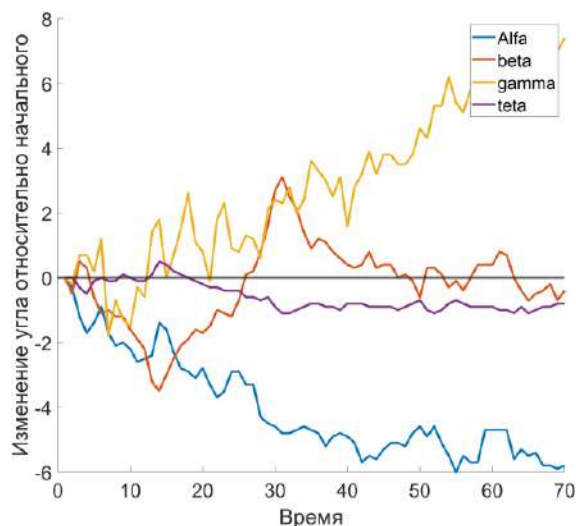


Рис. 3. Изменение углов относительно начального момента времени.

3. Заключение

Актуальность данного исследования продиктована снижением общей активности населения, ведением малоподвижного образа жизни, что приводит к серьезным проблемам со здоровьем. Плохая осанка часто является предвестником мышечного дисбаланса, избирательного напряжения и слабости из-за чрезмерного или недостаточного использования определенных мышц. Результат длительного неправильного положения тела может привести к ускорению развития некоторых патологий, боли в позвоночнике и артриту.

В настоящее время в большинстве медицинских учреждений анализ движения все еще остается субъективным. И поэтому проблема, на которую нацелен проект – объективизация методов анализа и оценка качества движения, выявление отклонений при выполнении стандартных упражнений по данным видеосъемки. Передовые видеотехнологии и анализ данных повышают эффективность работы специалистов в медицинских учреждениях.

В данной статье представлена методика автоматизации анализа движения человека, включая определение уникальных количественных параметров качества движения. Такой подход позволит получать информацию о малейших отклонениях от нормы, оценивать динамику во времени, а также сократить время диагностики заболеваний, облегчит корректировку применяемой терапии, так как позволит оценивать ее эффективность с помощью анализа изменения параметров со временем. Для спортивной сферы такой подход позволит корректировать технику выполнения тренировок для снижения риска травм, максимальной результативности.

Список литературы

1. Жардиновский, М. А. Методические рекомендации по корректирующей гимнастике при сколиозе у детей / М. А. Жардиновский. – К.: Здоровье, 1982. – 118 с.
2. Stokes, I.A., Spence H., Aronsson D.D., Kilmer N. Mechanical modulation of vertebral body growth. Implications for scoliosis progression. // Spine (Phila Pa 1976). – 1996. – № 21(10):1162-7–doi: 10.1097/00007632-199605150-00007.