

УДК: 617.3

ВАЛИДАЦИЯ MEDIAPIPE КАК ИНСТРУМЕНТА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОРТОПЕДИИ: СРАВНЕНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ И ГОНИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ СГИБАНИЯ ПЛЕЧЕВОГО И КОЛЕННОГО СУСТАВОВ

Вилков Артемий Андреевич^{1*}, Петрова Кристина Андреевна¹, Кривоносов Денис Михайлович¹, Терентьев Иван Павлович¹, Жилияков Андрей Викторович^{1,2}, Волокитина Елена Александровна^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации, Екатеринбург, Российская Федерация

² Общество с ограниченной ответственностью "Екатеринбургский Деловой Мир"

Аннотация

Введение. Оценка диапазона движения (ROM) суставов является важным элементом ортопедической диагностики, определяющим тактику лечения и мониторинг его эффективности. Традиционным методом оценки ROM является гониометрия, однако она субъективна и требует личного присутствия врача и пациента. Развитие технологий компьютерного зрения предлагает новые возможности для безмаркерной оценки ROM, например, использование библиотеки MediaPipe.

Цель исследования - оценка возможности использования библиотеки MediaPipe в качестве инструмента для функциональной диагностики в ортопедии путем сравнения телеметрических измерений сгибания плечевого и коленного суставов с гониометрическими измерениями.

Материал и методы. Были проведены телеметрические и гониометрические измерения сгибания плечевого и коленного суставов у 4 пациентов. Данные, полученные при помощи MediaPipe, сравнили с измерениями, полученными традиционным гониометрическим методом. **Результаты.** MediaPipe показала хорошие результаты в оценке сгибания суставов, близкие к результатам гониометрии. Среднее отклонение между двумя методами составило 3,3%. **Выводы.** Исследование подтвердило перспективность использования MediaPipe в качестве инструмента для функциональной диагностики в ортопедии. MediaPipe позволяет автоматизировать измерения и расширяет возможности телемедицины.

Ключевые слова: ROM, MediaPipe, гониометрия, функциональная диагностика, ортопедия, валидация, коленный сустав, плечевой сустав, безмаркерная оценка, телемедицина.

VALIDATION OF MEDIAPIPE AS A FUNCTIONAL DIAGNOSTIC TOOL IN ORTHOPEDICS: COMPARISON OF TELEMETRIC AND GONIOMETRIC MEASUREMENTS OF SHOULDER AND KNEE JOINT FLEXION

Vilkov Artemii Andreevich¹, Petrova Kristina Andreevna¹, Krivonosov Denis Mikhailovich¹, Terentev Ivan Pavlovich¹, Zhilyakov Andrei Viktorovich^{1,2}, Volokitina Yelena Aleksandrovna^{1,2}

¹ Ural State Medical University

² Limited liability company "Yekaterinburg Business World"

Yekaterinburg, Russia

Abstract

Introduction. Assessment of joint range of motion (ROM) is an important element of orthopedic diagnosis, determining treatment tactics and monitoring its effectiveness. The traditional method of ROM assessment is goniometry; however, it is subjective and requires personal presence of the physician and patient. The development of computer vision technology offers new possibilities for markerless assessment of ROM, such as the use of the MediaPipe library. **The aim of the study** - to evaluate the possibility of using the MediaPipe library as a tool for functional diagnosis in orthopedics by comparing telemetric measurements of shoulder and knee joint flexion with goniometric measurements.

Material and methods. Telemetric and goniometric measurements of shoulder and knee joint flexion were performed in 4 patients. The data obtained with MediaPipe were compared with measurements obtained with the traditional goniometric method.

Results. MediaPipe showed good results in assessing joint flexion, close to the results of goniometry. The mean deviation between the two methods was 3.3%. **Conclusions.** The study confirmed the promising use of MediaPipe as a tool for functional diagnosis in orthopedics. MediaPipe allows the automation of measurements and expands the possibilities of telemedicine.

Keywords: ROM, MediaPipe, goniometry, functional diagnostics, orthopedics, validation, knee joint, shoulder joint, markerless assessment, telemedicine.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка диапазона движения (ROM) суставов — важный аспект функциональной диагностики, выбора тактики лечения и мониторинга эффективности терапии в ортопедии. Традиционно для измерения ROM используется гониометрия — метод, основанный на ручном измерении углов с помощью специального инструмента - гониометра [1]. Несмотря на свою распространенность и относительную простоту, гониометрия обладает рядом недостатков. Главный из них — субъективность измерений, которая зависит от опыта и навыков специалиста, проводящего исследование. Кроме того, гониометрия требует личного присутствия пациента и врача, что затрудняет мониторинг ROM в динамике и ограничивает возможности телемедицины. Развитие технологий компьютерного зрения и появление безмаркерных методов оценки ROM открывает новые перспективы для ортопедической практики. Библиотека MediaPipe, разработанная Google, предоставляет доступный и эффективный инструмент для отслеживания позы человека и оценки параметров движения суставов на основе анализа видеозаписей [2]. MediaPipe использует передовые алгоритмы машинного обучения и нейронные сети, что позволяет автоматизировать процесс измерения ROM и снизить влияние субъективного фактора [3]. Однако, перед широким внедрением MediaPipe в клиническую практику, необходимо провести тщательную валидацию метода путем сравнения его точности и надежности с "золотым стандартом" — гониометрией. Данное исследование сфокусировано на валидации MediaPipe для измерения сгибания плечевого и коленного (в положении лежа) суставов, что позволит оценить применимость этого метода для диагностики и мониторинга состояния пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Цель исследования - целью данного исследования является валидация MediaPipe как инструмента функциональной диагностики в ортопедии путем сравнительного анализа телеметрических измерений сгибания плечевого и коленного (в положении лежа) суставов, полученных с помощью MediaPipe, и результатов измерений, выполненных с помощью стандартной гониометрии. Это позволит определить степень согласованности между двумя методами и оценить возможность использования MediaPipe в качестве альтернативы или дополнения к гониометрии в клинической практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Участники: В исследовании приняли участие 4 пациента, одного возраста без ортопедических патологий плечевого и/или коленного суставов. Критерии включения: отсутствие заболеваний коленного и плечевого суставов, подтвержденных врачом-ортопедом, способность понимать и выполнять инструкции, возраст от 18 лет. Критерии исключения: невозможность выполнять движения в полном объеме из-за боли или контрактур, наличие металлических имплантов в области исследуемых суставов, возраст до 18 лет. **Выбор библиотеки:** В рамках подготовки исследования был проведен сравнительный анализ доступных библиотек для оценки позы человека, включая OpenPose, AlphaPose и MediaPipe [4]. Выбор MediaPipe был основан на следующих ключевых критериях: точность измерений, скорость обработки данных, устойчивость к окклюзиям, требования к аппаратному обеспечению, кроссплатформенность и наличие подробной документации. MediaPipe продемонстрировала оптимальный баланс между этими критериями, обеспечивая высокую производительность на мобильных устройствах и веб-платформах при низких требованиях к ресурсам и хорошей документации [5]. Это делает MediaPipe наиболее подходящим решением для задач телемедицины и работы в условиях ограниченных ресурсов, что является приоритетом данного исследования.

Процедура: Оценка сгибания плечевого и коленного (в положении лежа) суставов проводилась у каждого пациента двумя методами:

1. **Гониометрия:** Измерения проводились опытным сертифицированным ортопедом с использованием стандартного гониометра согласно принятой методике (1). Для

коленного сустава измерялся угол сгибания в положении лежа на животе с выпрямленной ногой. Для плечевого сустава измерялся угол сгибания в положении стоя с опущенной рукой. Каждое измерение повторялось трижды, и записывалось среднее значение.

2. **Телеметрия с MediaPipe:** Пациенты выполняли стандартизированный набор движений (сгибание плеча до максимально возможного угла и сгибание колена в положении лежа до максимально возможного угла) перед камерой [Creative Live! Cam, 1920x1080, 30 fps] в стандартных условиях: хорошо освещенная комната, с фиксированным расстоянием до камеры. Видеозаписи обрабатывались с использованием библиотеки MediaPipe для определения координат ключевых точек тела и расчета углов сгибания в суставах [6].

3. **Статистический анализ:** Для сравнения результатов, полученных с помощью гониометрии и MediaPipe, использовались средние значения и процент отклонения, для каждого отдельного измерения

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 1.

Результаты измерений плечевого сустава

Номер участника	Ручной гониометр (средний угол, в гр.)	MediaPipe (средний угол, в гр.)	Процент отклонения (%)
1	170	161,5	5,0
2	165	156,5	5,2
3	152	153,5	1,0
4	158	155	1,9
Сред.значение	161,2	156,6	3,3

Таблица 2.

Результаты измерений коленного сустава

Номер участника	Ручной гониометр (средний угол, в гр.)	MediaPipe (средний угол, в гр.)	Процент отклонения(%)
1	120	112	6,7
2	100	105	5,0
3	120	112	6,7

4	117	122	4,3
Сред.значение	114,2	112,7	5,7

ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование было направлено на сравнительную оценку двух методов измерения диапазона движения (ROM) суставов: традиционной гониометрии и инновационного подхода с использованием библиотеки MediaPipe. Гониометрия, являясь «золотым стандартом» в ортопедической практике, основана на ручном измерении углов с помощью гониометра. Несмотря на свою распространенность и относительную простоту, гониометрия подвержена субъективности, обусловленной опытом и навыками исследователя.

В отличие от традиционного метода оценки ROM, MediaPipe, используя технологии компьютерного зрения для автоматического анализа видеозаписей, предлагает ряд преимуществ. Прежде всего, это объективизация процесса измерения, снижающая влияние человеческого фактора и повышающая точность результатов. Кроме того, MediaPipe – это доступная и кроссплатформенная технология, не требующая специализированного оборудования, кроме камеры, что способствует цифровизации процесса. Возможность дистанционного мониторинга ROM посредством самостоятельной записи и отправки видео пациентами врачу повышает доступность медицинской помощи и ускоряет процесс оценки.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии корреляции между измерениями, выполненными с помощью гониометрии и MediaPipe. Это открывает перспективы для применения MediaPipe в качестве альтернативного метода оценки ROM, например, в рамках телемедицинских консультаций или для предварительного скрининга.

Тем не менее, необходимо учитывать ограничения, присущие MediaPipe. Точность измерений существенно зависит от качества видеоматериала, включая освещение, фон и наличие дефектов изображения. Алгоритмы компьютерного зрения, лежащие в основе MediaPipe, также могут быть подвержены ошибкам, особенно при анализе сложных движений.

Ограниченный размер выборки, состоящей из здоровых добровольцев, является одним из ключевых ограничений данного исследования. Для всесторонней оценки эффективности и надежности MediaPipe необходимы дальнейшие исследования с участием пациентов с различной ортопедической патологией, а также разработка стандартизированных протоколов видеосъемки, которая позволит минимизировать влияние внешних факторов на результаты измерений.

ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследования с использованием MediaPipe для оценки диапазона движений (ROM) в плечевом и коленном суставах у 4 здоровых участников показал положительную корреляцию с результатами, полученными традиционным гониометрическим методом. Однако, из-за ограниченного размера выборки, статистически значимая корреляция не была подтверждена. Несмотря на отсутствие статистической значимости, MediaPipe демонстрирует потенциальные преимущества в автоматизации и возможности дистанционного мониторинга. К ключевым ограничениям относятся зависимость от качества видео, чувствительность к движениям пациента, точность алгоритмов распознавания ключевых точек, а также необходимость дальнейшего исследования с большим объемом данных и учетом различных нозологий.

В настоящее время применение MediaPipe в клинической практике ограничено, но потенциально перспективно для первичного скрининга и мониторинга динамики ROM в процессе реабилитации, а также для телемедицинских консультаций. Для этого необходимо проводить дальнейшие исследования с большим объемом данных, стандартизированными протоколами, оценкой точности при различных типах движений и патологий. Таким образом,

несмотря на перспективность, широкое внедрение MediaPipe в клиническую практику требует дальнейшего подтверждения его эффективности и точности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Cynthia, C. Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry / C. Cynthia, D. Norikin, J. White. – 5th ed. – Philadelphia, PA: F A Davis, 2016. – 594 p.
2. Feasibility of 3D Body Tracking from Monocular 2D Video Feeds in Musculoskeletal Telerehabilitation / C. Clemente, G. Chambel, D.C.F. Silva [et al.] // Sensors. - 2023. – Vol. 24, №1. – P. 206.
3. Comparison of computational pose estimation models for joint angles with 3D motion capture / R.I. Hamilton, Z. Glavcheva-Laleva [et al.] // – J Bodyw Mov Ther. - 2024. – Vol. 40. – P. 315-319.
4. Automated, Vision-Based Goniometry and Range of Motion Calculation in Individuals With Suspected Ehlers-Danlos Syndromes/Generalized Hypermobility Spectrum Disorders: A Comparison of Pose-Estimation Libraries to Goniometric Measurements / A. Sabo, N. Mittal, A. Deshpande, [et al.] // J Transl Eng Health Med. - 2024. –Vol.12. – P.140 – 150.
5. A Machine Learning App for Monitoring Physical Therapy at Home / B. Pereira, B. Cunha, P. Viana [et al.] // Sensors. - 2023. – Vol.24, №1. – P. 158.
6. Validation of Angle Estimation Based on Body Tracking Data from RGB-D and RGB Cameras for Biomechanical Assessment / T.B.G. Lafayette, V.H.L. Kunst, P.V.S. Melo, [et al.]. – Sensors, 2022. – Vol.23, №1. – P.3.

Сведения об авторах

А. А. Вилков - студент

К. А. Петрова - студент

И. П. Терентьев *- студент

Д. М. Кривоносов - студент

А. В. Жилияков - доктор медицинских наук, доцент

Е. А. Волокитина - доктор медицинских наук, профессор

Information about the authors

A. A. Vilkov - Student

K. A. Petrova - Student

I. P. Terent'ev - Student

D. M. Krivonosov - Student

A. V. Zhiljakov - Doctor of Sciences (Medicine), Associate Professor

E. A. Volokitina - Doctor of Sciences (Medicine), Professor

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

terentevivan007@gmail.com

УДК: 616-006.3.04

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОРТЕЗОВ

Ковалев Григорий Сергеевич, Слезкин Савелий Александрович, Смирнов Александр Егорович, Чашина Вилена Игоревна, Жилияков Андрей Викторович, Волокитина Елена Александровна

Кафедра травматологии и ортопедии

ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России

Екатеринбург, Россия

Аннотация

Введение. Аддитивные технологии, или 3D-печать, являются инновационной технологией для изготовления индивидуальных ортезов. Она позволяет приводить структуру и форму ортеза в соответствие с анатомией и функциональными потребностями конкретного пациента, персонализируя процесс лечения. Однако широкое применение аддитивного производства в клинической практике на данный момент ограничено вследствие недостатка данных о долгосрочной эффективности, прочности, биосовместимости используемых материалов и экономической целесообразности по сравнению с традиционными методами. **Цель исследования** – сравнительная оценка физико-механических и производственных характеристик различных материалов для 3D-печати индивидуальных ортезов. **Материал и методы.** Проведен систематический поиск в базах данных PubMed, ResearchGate, Science Direct и Scopus за период 2010-2023 гг. В обзор включены исследования, посвященные ортопедическим конструкциям, изготовленным с помощью 3D-печати. Проанализированы физико-механические свойства (модуль Юнга, предел текучести, прочность), параметры производства (температура экструзии, скорость печати, толщина слоя) ортезов из различных материалов (PLA, ABS, PETG, TPU, PCL). **Результаты.** PLA обеспечивает необходимую жесткость, однако характеризуется хрупкостью. ABS отличается высокой прочностью и ударостойкостью, однако для его печати требуется высокая температура. PETG сочетает жесткость и гибкость, а также обладает ударостойкостью, однако проявляет гидрофильные свойства. TPU демонстрирует эластичность и гидрофобность, но не подходит для жесткой фиксации конструкций. PCL является