



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UGR / CIUDAD AUTÓNOMA DE CEUTA 2024

Referencia:	CE-11-UGR24
Título del proyecto:	<i>Biomecánica de la Locomoción Humana con Cargas: Análisis Comparativo de Precisión entre Tecnologías Marker-Based y Markerless.</i> <i>Acrónimo: BioMarker</i>
Investigador/a principal:	José M ^a Heredia Jiménez
Convocatoria:	Convocatoria del Programa de Proyectos de Investigación UGR Ciudad Autónoma de Ceuta 2024.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

2. Objetivos y fines del proyecto

Información sobre el progreso de las actividades del proyecto y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

2.1. Desarrollo de los objetivos planteados.

Descripción de los objetivos planteados en la solicitud y del grado de cumplimiento de los mismos (porcentaje estimado respecto al objetivo planteado).

El proyecto: **Biomecánica de la Locomoción Humana con Cargas: Análisis Comparativo de Precisión entre Tecnologías Marker-Based y Markerless**, cuyo acrónimo del proyecto lo denominamos: **BioMarker**, se ha ejecutado íntegramente conforme a la planificación inicial y ha alcanzado el **100% de los objetivos científicos y técnicos propuestos**.

1. **Comparar la precisión entre sistemas marker-based y markerless en locomoción con carga.**
Completado mediante la captura y análisis de datos de los 15 participantes previstos, en tres condiciones experimentales (sin mochila, mochila regular y mochila de acampada). Los resultados confirman una alta correlación entre ambos sistemas, con diferencias menores al margen de error aceptado en parámetros angulares y espaciotemporales.
2. **Validar el modelo de tronco HubemaLab.**
El modelo fue aplicado con éxito y validado frente al sistema markerless, mostrando su fiabilidad incluso en condiciones con oclusión parcial por mochilas.
3. **Determinar la aplicabilidad de los sistemas markerless en entornos naturales y clínicos.**
Completado. Se ha comprobado la eficiencia del sistema Theia3D en condiciones reales de laboratorio, reduciendo significativamente el tiempo de preparación y la incomodidad del sujeto frente al método tradicional.
4. **Comparar la cinemática del tronco con distintos tipos de mochila.**
Cumplido mediante análisis SPM (Statistical Parametric Mapping), identificándose patrones diferenciales de movilidad del tronco y pelvis según el tamaño de la carga transportada.
5. **Establecer recomendaciones para el uso de sistemas markerless en estudios de locomoción con carga.**
Objetivo alcanzado con la elaboración de un protocolo de validación cruzada marker-based / markerless, actualmente en proceso de publicación científica y difusión en congresos internacionales.

En síntesis, el proyecto ha **cumplido todos los objetivos previstos**, demostrando la equivalencia funcional entre ambos sistemas de captura y aportando evidencias novedosas sobre la viabilidad del análisis biomecánico de la marcha con mochilas mediante tecnologías sin marcadores.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

2.2. Actividades realizadas y resultados alcanzados.

Descripción de las actividades científico-técnicas realizadas para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto.

El proyecto *BioMarker* se desarrolló íntegramente conforme a la planificación inicial, completándose todas las fases de trabajo previstas entre febrero y septiembre de 2025.

Actividad 1. Revisión bibliográfica y diseño experimental (febrero-marzo 2025)

Durante esta fase se actualizó la literatura sobre tecnologías de captura marker-based y markerless aplicadas al análisis de locomoción con carga. Se revisaron más de 50 artículos recientes y se adaptaron los protocolos de registro y calibración del laboratorio HubemaLab (Campus de Ceuta), optimizando la integración de cámaras Qualisys Oqus 5+ (IR) y Miquis Color (RGB) con las plataformas de fuerza triaxiales. Asimismo, se completó el reclutamiento y consentimiento informado de los 15 sujetos adultos jóvenes **previstos en el proyecto**.

Actividad 2. Toma de datos experimentales (abril-mayo 2025)

Las sesiones de captura se realizaron en el laboratorio HubemaLab, evaluando tres condiciones experimentales: marcha sin carga, con mochila regular y con mochila de acampada. Los datos fueron recogidos simultáneamente por los sistemas marker-based y markerless, garantizando la sincronización temporal y espacial entre cámaras y plataformas de fuerza.

Actividad 3. Procesamiento y análisis de datos (junio-Septiembre 2025)

Los datos fueron procesados con Qualisys Track Manager (QTM), Theia3D (para la reconstrucción markerless) y Visual3D (para modelado y análisis cinemático). El análisis estadístico se realizó mediante Statistical Parametric Mapping (SPM1D), comparando las curvas cinemáticas completas entre sistemas y condiciones. Parte del procesamiento se llevó a cabo durante la **estancia Erasmus+ del IP en la Mahidol University (Bangkok, Tailandia)**, en colaboración con la **Dra. Fuengfa Khobkhun**, del *Department of Physical Therapy*, en la universidad líder del país según el *ARWU–Shanghai Ranking*.

Actividad 4. Difusión y presentación internacional (Octubre 2025–Noviembre 2025)

El IP presentó un póster con resultados del proyecto en el **XXX Congreso Mundial de la International Society of Biomechanics (ISB 2025)**, celebrado en **Estocolmo (Suecia)**, del **27 al 31 de julio de 2025**, con el título: “Comparative Analysis of Marker-Based and Markerless Motion Capture Systems in Backpack



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

Carriage”

El trabajo, analizó las diferencias cinemáticas entre ambos sistemas bajo condiciones de marcha con carga, mostrando desviaciones sistemáticas principalmente en el plano sagital (mayor inclinación torácica y menor flexión de cadera en el sistema markerless).

Actividad 5. Redacción y explotación científica (Diciembre 2025)

Con los resultados obtenidos, se está redactando un manuscrito en colaboración con la **Dra. Fuengfa Khobkhun (Mahidol University)** y el **Prof. James Richards (University of Central Lancashire, Reino Unido)**, titulado:

“Comparative accuracy of marker-based and markerless motion capture for human load carriage” que será enviado a la revista Gait & Posture, revista indexada en el índice de Calidad del Journal Citations Reports (JCR) y donde se referenciará a la Ciudad Autónoma de Ceuta y a la Universidad de Granada, como financiadoras del proyecto.

Resultados principales:

- Validación completa del modelo de tronco HubemaLab en condiciones de carga.
- Cuantificación de diferencias sistemáticas entre sistemas marker-based y markerless.
- Confirmación de la viabilidad del análisis markerless en locomoción con mochilas.
- Difusión internacional a través de ISB 2025 y colaboración internacional consolidada.
- Publicación de un artículo científico en revista de impacto JCR con los hallazgos del proyecto (en ejecución)

2.3. Medios dedicados al proyecto.

Indicar los medios materiales y personales empleados, tanto propios como ajenos.

El proyecto se ha desarrollado íntegramente en el **Laboratorio de Infraestructura Singular (LIS) HubemaLab** de la Universidad de Granada, ubicado en el Campus de Ceuta. Este laboratorio constituye una instalación científico-técnica avanzada dedicada al análisis tridimensional del movimiento humano, equipada con tecnología de referencia internacional para estudios de biomecánica y comportamiento motor.

Medios materiales empleados:

- **Sistema de captura de movimiento marker-based Qualisys Oqus 5+ (12 cámaras infrarrojas, 100 Hz).**



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

- **Sistema de captura de movimiento markerless Qualisys Miquis Color (8 cámaras RGB)**, integrado y sincronizado con el sistema anterior mediante **Qualisys Track Manager (QTM)**.
- **Plataformas de fuerza triaxiales AMTI (4 unidades)** para la detección de eventos del ciclo de marcha.
- **Software de análisis:** *Qualisys Track Manager (QTM)*, *Theia3D (Theia Markerless Inc.)* y *Visual3D (C-Motion Inc.)*, empleados para la reconstrucción, modelado y análisis cinemático tridimensional.
- **Equipamiento auxiliar:** ordenadores de alto rendimiento, pasillo de marcha instrumentado, mochilas experimentales (regular y de acampada) y material de registro audiovisual.

Material adquirido con cargo al proyecto:

Se ha financiado el material fungible necesario para la ejecución de las pruebas experimentales, incluyendo marcadores epidérmicos reflectantes, adhesivos de fijación, spray de adherencia y cinta hipoalergénica, así como pequeños consumibles de laboratorio asociados al montaje y calibración de cámaras.

Medios personales:

El proyecto ha contado con la participación activa del equipo de investigación y colaboradores descritos en el apartado 1, quienes han realizado las tareas de diseño experimental, toma de datos, modelado y análisis estadístico.

En conjunto, los medios humanos y materiales disponibles han garantizado la correcta realización del estudio, asegurando la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en todas las fases del proyecto.

2.4. Problemas y cambios en el plan de trabajo.

Descripción de las dificultades y/o problemas que hayan podido surgir durante el desarrollo del proyecto.

El desarrollo del proyecto *BioMarker* se ha llevado a cabo **sin incidencias reseñables ni desviaciones respecto al plan de trabajo inicialmente aprobado**.

Todas las fases, revisión bibliográfica, diseño experimental, toma de datos, procesamiento, análisis y difusión de resultados se completaron **en los plazos y condiciones previstas** en la memoria original.

El cronograma se cumplió íntegramente, sin necesidad de modificaciones metodológicas, presupuestarias ni de personal. Las condiciones de infraestructura, equipamiento y colaboración



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

interinstitucional fueron óptimas, garantizando la correcta ejecución del estudio y la obtención de los resultados previstos.

En consecuencia, **no se produjeron retrasos, replanificaciones ni incidencias técnicas o logísticas** que afectaran a los objetivos o al rendimiento científico del proyecto.

3. Difusión de los resultados del proyecto

Relacione los resultados derivados de este proyecto. Incluir Dossier fotográfico y repercusión mediática, en su caso. (Publicaciones, posters, participación en congresos...)

La difusión científica y académica derivada del proyecto *BioMarker* ha sido amplia y se ha desarrollado en diferentes niveles: congresual, internacional y editorial, cumpliendo plenamente con los objetivos de transferencia establecidos en la memoria original.

1. Comunicación científica internacional:

Se presentaron los resultados principales del proyecto en el **XXX Congreso Mundial de la International Society of Biomechanics (ISB 2025)**, celebrado en **Estocolmo (Suecia)**, del **27 al 31 de julio de 2025**, mediante el póster titulado: **“Comparative Analysis of Marker-Based and Markerless Motion Capture Systems in Backpack Carriage.”** La comunicación mostró los resultados comparativos entre ambos sistemas de captura en condiciones de carga, evidenciando ligeras desviaciones sistemáticas en el plano sagital y la validez del modelo de tronco HubemaLab. El congreso de la ISB se celebra cada dos años, siendo el congreso de biomecánica a nivel mundial más importante y que alberga a más de 2000 investigadores y científicos del área de la biomecánica de los 5 continentes.

2. Publicación científica en preparación:

Se encuentra en fase final de redacción el artículo: *“Comparative accuracy of marker-based and markerless motion capture for human load carriage”* en coautoría con la **Dra. Fuengfa Khobkhun** (Mahidol University, Tailandia) y el **Prof. James Richards** (University of Central Lancashire, Reino Unido). El manuscrito será enviado a la revista *Gait & Posture* (con Impacto en el índice JCR), y presenta los resultados integrales del proyecto con análisis SPM1D y comparación entre modelos marker-based y markerless en condiciones de marcha con carga. Este trabajo muestra la colaboración internacional del proyecto y diseminación en revistas de impacto mundial de los resultados del proyecto.

3. Colaboraciones internacionales y transferencia:

Durante la estancia Erasmus+ del IP en la **Mahidol University (Bangkok, Tailandia)**, se establecieron sinergias con el grupo de investigación en Fisioterapia de la **Dra. Fuengfa Khobkhun**, ampliando el



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

alcance metodológico del estudio y favoreciendo futuras colaboraciones en biomecánica aplicada. Asimismo, se ha mantenido la colaboración científica con el **Prof. James Richards** (UCLan, Reino Unido), experto en análisis del movimiento humano, para la comparación metodológica entre laboratorios europeos y asiáticos.

4. Difusión institucional y visibilidad:

Los resultados del proyecto se han difundido a través de los canales institucionales del **HubemaLab (UGR–Ceuta)**, contribuyendo a la proyección internacional del laboratorio como infraestructura singular de referencia en biomecánica.

4. Colaboraciones

Personas y entidades públicas y privadas que hayan colaborado, en su caso.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

Durante la ejecución del proyecto *BioMarker* se han establecido **colaboraciones científicas, institucionales e industriales** de alto valor estratégico, tanto a nivel nacional como internacional. Estas colaboraciones han contribuido directamente al éxito técnico del proyecto y a su proyección global.

1. Colaboraciones internacionales académicas:

- **Mahidol University (Bangkok, Tailandia)**
Colaboración con la **Dra. Fuengfa Khobkhun**, del *Department of Physical Therapy*, durante la estancia Erasmus+ del Investigador Principal. En esta colaboración se realizó parte del procesamiento y análisis de datos cinemáticos, se compartieron protocolos de captura y se co-redactó el artículo científico actualmente en preparación. Mahidol University se sitúa como el **número uno de Tailandia en el ARWU–Shanghai Ranking**, reforzando la proyección internacional del proyecto.
- **University of Central Lancashire (UCLan, Reino Unido)**
Colaboración con el **Prof. James Richards**, experto de referencia mundial en análisis biomecánico. Su participación ha sido clave en la revisión metodológica y validación cruzada de resultados entre sistemas de captura marker-based y markerless.

2. Colaboraciones industriales y tecnológicas:

- **Qualisys AB (Gotemburgo, Suecia)**
Empresa fabricante del sistema de captura marker-based empleado en el proyecto. Se ha **informado y contactado formalmente con Qualisys AB** sobre el desarrollo y resultados del estudio, generando interés por parte de la compañía en las aplicaciones experimentales realizadas en el HubemaLab.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

- **Theia Markerless Inc. (Kingston, Canadá)**

Empresa desarrolladora del software *Theia3D* utilizado en el análisis markerless. La compañía ha **solicitado material audiovisual e información científica sobre el proyecto BioMarker** y está **elaborando un vídeo promocional internacional** que incluirá imágenes del HubemaLab y de las pruebas realizadas, con difusión prevista en sus canales oficiales y redes sociales a nivel mundial, contribuyendo así a la visibilidad global del Campus de Ceuta y de la Universidad de Granada.

3. Colaboraciones nacionales:

- **Universidad de Granada (España)**

Participación de personal docente e investigador de los departamentos de **Educación Física y Deportiva, Didáctica de la Expresión Corporal y Lenguajes y Sistemas Informáticos**, pertenecientes a los campus de **Ceuta, Granada y Melilla**. Estas colaboraciones han permitido integrar conocimientos en biomecánica, ingeniería y análisis del movimiento, consolidando un enfoque multidisciplinar.

4. Colaboración institucional:

- **Ciudad Autónoma de Ceuta**

Entidad financiadora del proyecto, cuya contribución económica ha sido esencial para la adquisición del material fungible, el fortalecimiento del HubemaLab como infraestructura singular y la proyección internacional del campus.

En conjunto, el proyecto *BioMarker* ha consolidado una **red de colaboración científica, tecnológica e institucional** que posiciona al Campus de Ceuta como un referente internacional en investigación biomecánica y desarrollo de nuevas metodologías de análisis del movimiento humano.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

5. Resumen de gastos realizados durante la ejecución del proyecto

Gastos de Ejecución	Importe Concedido	Importe Ejecutado
Marcadores Epidérmicos y fungible de biomecánica		1370 €
Adhesivos para marcadores de sistemas de captura		875,6 €
Inscripción al 30 th Congreso de la International Society of Biomechanics (ISB)		911,77 €
Asistencia al 30 th Congreso de la ISB (Viaje, alojamiento, manutención)		1842,63 €
TOTAL	5.000 €	5.000 €

En Ceuta, a 19 de Octubre de 2025.

Investigador/a Principal

Representante legal

Fdo.:

Fdo.:



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura

ANEXO FINAL. PUBLICIDAD

Incluir publicaciones u otros resultados derivadas directamente de la actividad científica del proyecto o cualquier otro material impreso con cargo a la subvención, así como fotografías del material inventariable adquirido.

- 1- Póster presentado en el **XXX Congreso Mundial de la International Society of Biomechanics (ISB 2025)**, celebrado en **Estocolmo (Suecia)**, del 27 al 31 de julio de 2025



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de Ceuta

Consejería de Educación y Cultura

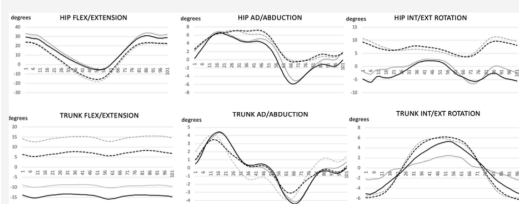
COMPARATIVE ANALYSIS OF MARKER-BASED AND MARKERLESS MOTION CAPTURE SYSTEMS IN BACKPACK CARRIAGE

J. Heredia-Jiménez, Dpt. of Physical Education and Sports,
Human Behaviour & Motion Analysis Lab (HubemaLab),
University of Granada, Spain. Contact herediaj@ugr.es:



INTRODUCTION

Traditional marker-based motion capture systems are the gold standard for biomechanical analysis but pose limitations when studying backpack carriage due to marker occlusion, especially in the trunk and pelvis. Markerless systems offer a promising alternative. This study evaluates trunk and hip kinematics under load using both methods.



Black solid line: Walking (marker-based); Black dotted line: Walking (markerless);
Grey solid line: Backpack (marker-based); Grey dotted line: Backpack (markerless).

METHODOLOGY

16 healthy adults (35.4(10) yrs; 1.71(0.09)m; 67.2(12.3) kg)

Conditions:

- Loadless walking
- Walking with a 10 kg backpack

Systems:

- Marker-based (Qualisys AB)
- Markerless (Theia, Canada)

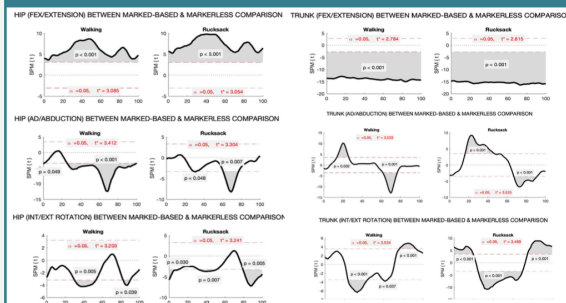
Analysis:

- Trunk and hip kinematics (sagittal, frontal, transverse planes)
- Statistical Parametric Mapping (SPM1D) for waveform comparisons

OBJECTIVE

To compare kinematic measurements from marker-based and markerless systems during walking with and without a 10 kg backpack, focusing on the trunk and pelvis.

RESULTS



Sagittal Plane:

Systematic offset observed between both systems.

Markerless:

overestimation of thorax angle, underestimation of hip flexion.

Frontal & Transverse Planes:

Partial significant differences during gait cycle.

Load Condition:

Discrepancies amplified under backpack load.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



DISCUSSION AND CONCLUSION

While markerless systems offer significant practical advantages—such as faster setup, no need for reflective markers, and greater ecological validity—they consistently exhibit deviations in kinematic estimations when compared to validated marker-based models. These discrepancies are particularly evident in the sagittal plane, where thorax angles are often overestimated and hip flexion underestimated. Under load carriage conditions, such as backpack use, these deviations become more pronounced, likely due to changes in posture and soft tissue artifacts. Therefore, when interpreting motion data for clinical or research purposes, it is essential to account for these systematic offsets. Markerless systems hold great promise, but further refinement of their algorithms and validation protocols is required to ensure accuracy and reliability in real-world biomechanical applications.

Acknowledgments:

This study was supported by the projects of the Ciudad Autónoma de Ceuta.
University of Granada. Project Code: CE-11-UGR24



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de Ceuta
Consejería de Educación y Cultura



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de Ceuta

Consejería de Educación y Cultura

2- Resumen del Póster, Publicado en el **Libro XXX Congreso Mundial de la International Society of Biomechanics (ISB 2025)**.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MARKER-BASED AND MARKERLESS MOTION CAPTURE SYSTEMS IN BACKPACK CARRIAGE

Heredia-Jimenez, J¹

¹ Dpt. of Physical Education and Sports. Human Behaviour & Motion Analysis Lab (HubemaLab), University of Granada. Spain

Email: herediaj@ugr.es

Summary

Marker-based motion capture systems are widely regarded as the gold standard for movement analysis. However, their applicability is limited when assessing locomotion with external loads due to marker occlusion. Markerless systems have emerged as a promising alternative. This study aims to compare trunk-pelvis kinematics between marker-based and markerless motion capture systems during backpack carriage

Introduction

Three-dimensional motion capture systems provide essential insights into human locomotion. Traditional marker-based systems deliver highly accurate data but pose challenges when analyzing movements involving backpacks or exoskeletons due to marker occlusion, particularly in the trunk and pelvis regions [1,2]. To address this issue, markerless motion capture has been proposed as an alternative. The objective of this study was to assess the differences in trunk and pelvis kinematics between marker-based and markerless systems during loaded and unloaded walking conditions [3].

Methods

A total of 16 healthy adults (9 males) participated in this study (mean age: 35.4 ± 10 years; height: 1.71 ± 0.09 m; weight: 67.2 ± 12.3 kg). Participants walked at a self-selected pace under two randomized conditions: normal walking (no load) and walking with a 10 kg backpack. Motion data were collected using a marker-based system

(Qualisys AB, Sweden) and a markerless system (Theia, Canada). The trunk-pelvis kinematic model employed in the marker-based analysis was previously validated for backpack carriage studies [3]. Statistical analysis was performed using one-dimensional statistical parametric mapping (SPM1D) to compare kinematic waveforms between the two systems and conditions [4].

Results and Discussion

The analysis revealed a systematic offset between the marker-based and markerless models in the sagittal plane, with partial significant differences in the frontal and transverse planes [1]. Specifically, the markerless system overestimated thoracic inclination while underestimating hip flexion when compared to the marker-based model. These discrepancies were more pronounced under the loaded condition, suggesting that the choice of motion capture system should be carefully considered when evaluating posture and movement under external load conditions.

Previous studies have also reported similar offsets between marker-based and markerless motion capture techniques [2,3]. Sinclair et al. [1] highlighted that while markerless systems offer a more accessible and non-intrusive alternative, they tend to introduce systematic biases in joint kinematics, particularly under dynamic conditions. Wu et al. [2] further emphasized that improvements in algorithmic processing could help mitigate these discrepancies. The present findings align with these prior observations, reinforcing the necessity of



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de Ceuta

Consejería de Educación y Cultura

methodological considerations when interpreting
markerless motion capture data.

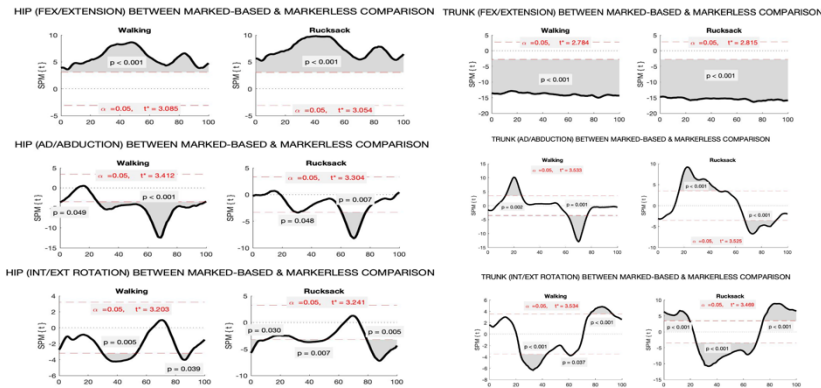


Figure 1. Trunk and hip kinematics with marker-based and markerless systems compared during loadless and backpack conditions.

Conclusions

The findings indicate that while markerless motion capture presents a viable alternative to marker-based systems, inherent differences in kinematic estimations must be acknowledged. Researchers should account for these discrepancies when interpreting data, particularly in load carriage scenarios. Future research should focus on refining markerless algorithms to improve their accuracy and reliability.

References

- [1] Sinclair J et al. *Sports Biomech*, **11**: 430-437, 2012.
- [2] Wu G et al. *J Biomech*, **38**: 981-992, 2005.
- [3] Orantes E et al. *J Biomech Eng*, **143**(4), 2021.
- [4] Pataky TC et al. *J Biomech*, **48**: 1277-1285, 2015.

Acknowledgments

This Study was supported by the projects of the Ciudad Autónoma de Ceuta and University of Granada. Code: CE-11-UGR24



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Ciudad Autónoma
de **Ceuta**

Consejería de Educación y Cultura