

Ángulo de Flexión de la Rodilla en Tiempo Real para Lesión de Ligamento Cruzado Anterior mediante Visión Computacional



Tecnología de vanguardia para soluciones de monitoreo accesibles

Tecnológico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias

Milton Osiel Candela Leal, Valeria Estefani Esquivel Galvan, Marcos David Moya Bencomo

Abstract

Debido a factores fisiológicos al ejecutar movimientos cinemáticos durante actividad física, las mujeres deportistas suelen tener más una lesión en el Ligamento Cruzado Anterior (LCA) en comparación con los hombres, el LCA es importante para la estabilidad anterior y rotacional de la rodilla, así como para alinear el eje de las rodillas. Uno de los mecanismos de lesiones en el LCA son las desfiguraciones (ángulo de flexión de rodilla), que con monitoreo constante se reduce el riesgo. Con base en un protocolo de monitoreo de riesgo LCA, es posible monitorear en tiempo real y retroalimentar visualmente a atletas femeninas mientras hacen una prueba Drop Vertical Jump (DVJ), el sistema usa OpenPose (software de visión computacional de 28 marcadores del cuerpo humano) y una cámara multipropósito Intel RealSense L515 (profundidad, RGB, infrarroja), para mapear tridimensionalmente el cuerpo humano. Esto lo hace usando una única perspectiva frontal, y entonces calcular el ángulo de flexión de rodilla. El sistema utiliza una pantalla que proyecta los resultados al atleta y una cámara L515. La interfaz logra que la atleta obtenga retroalimentación en tiempo real sobre su ángulo de su rodilla, y reducir el riesgo de LCA sin utilizar un complicado sistema de marcadores físicos. Para el período actual, el sistema únicamente soporta un usuario a la vez; sin embargo, múltiples usuarios son posibles con más capacidad de procesamiento. De esta forma, el protocolo de monitoreo portátil y de bajo costo permite reducir el riesgo de lesión de LCA en atletas en tiempo real.

Introducción

El ligamento cruzado anterior (LCA), dentro de la articulación de la rodilla, tiene una lesión cuando este se estira o desgarras [1], con **mayor riesgo** atletas femeninas [2].

Funciones [2]:

- Estabilidad anterior y rotatoria a la rodilla
- Conectar huesos: Fémur y tibia
- Limitar movimientos excesivos de rotación

Mecanismos de lesión [2]:

- Rotación del fémur sobre una tibia fija
- **Peak Knee Flexion angle**
- Complicaciones / límites con equilibrio

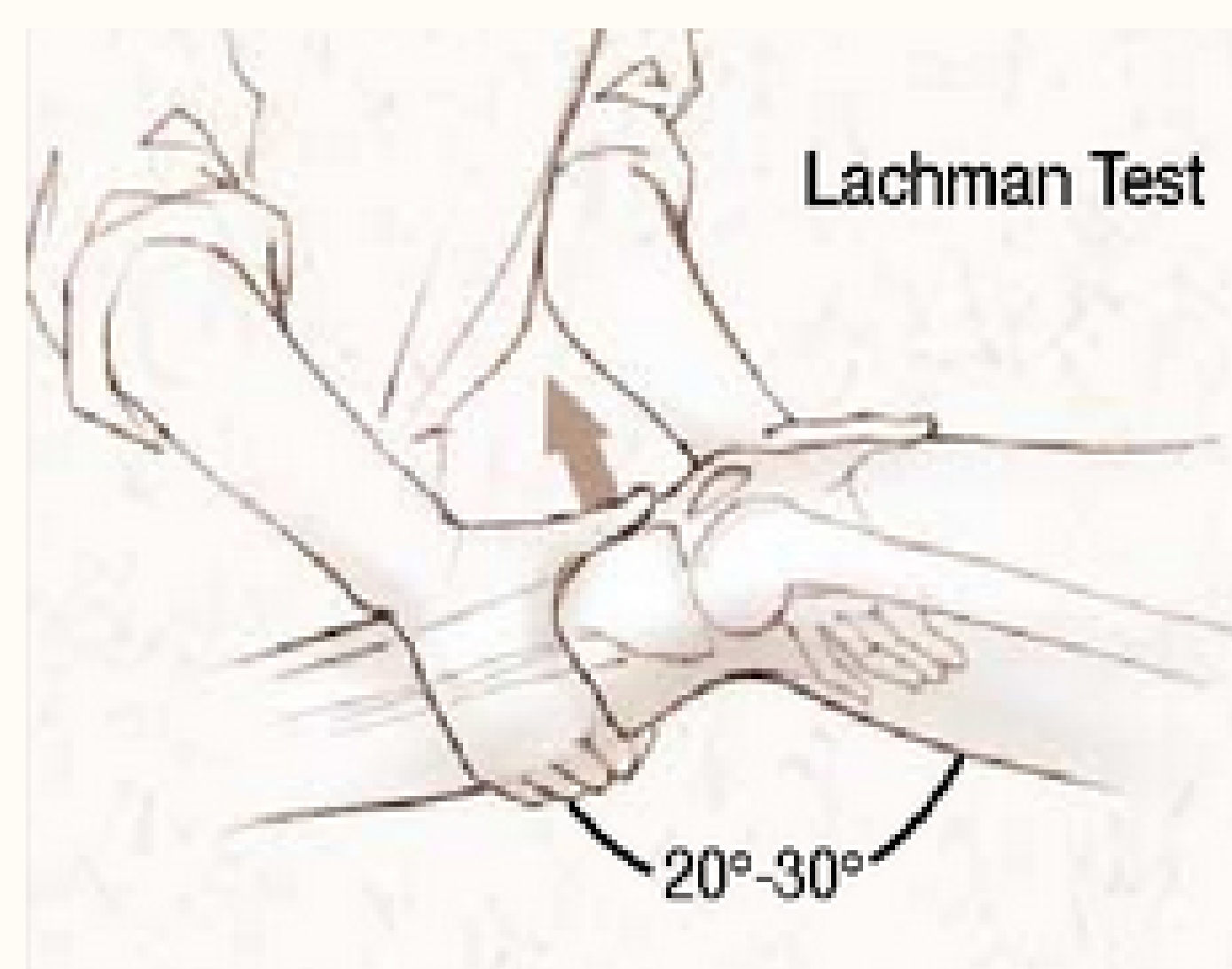


Figura 1. Prueba de Lachman [3]

Maniobras físicas de diagnóstico:

- Prueba de Lachman para dolor, desbalance y límite de flexión/extensión [3]
- Prueba de pivote para traslación anterior de la tibia y rotación interna [3]
- Resonancia Magnética Nuclear (RMN) con sens = 97% y espec = 87%, lesiones [4]

Metodología

A través de **OpenPose** [5], un software de **Visión Computacional** (VC) que predice 25 puntos clave de la pose de un humano, y una **cámara de profundidad** Intel RealSense L515, se creó un sistema en **tiempo real** a través de **Python** para calcular la media del ángulo de flexión de rodilla [6] (Figura 5).

El cálculo del ángulo con una **única perspectiva frontal** se realizó con base en un **mapeo tridimensional** de los puntos clave (cadera, rodilla y pie), y la ley de cosenos. Finalmente, la **retroalimentación** en tiempo real **mejora el ángulo** de flexión de rodilla en prueba Drop Vertical Jump (DVJ) [7], reduciendo riesgo de lesión de LCA.

El diagrama de flujo encontrado en la Figura # muestra el proceso del sistema diseñado, dicho deberá de usarse hasta que la atleta femenina tenga una media de **ángulo > 40-60°**, pues de esta manera se puede dar el **Return to Play** (RTP).

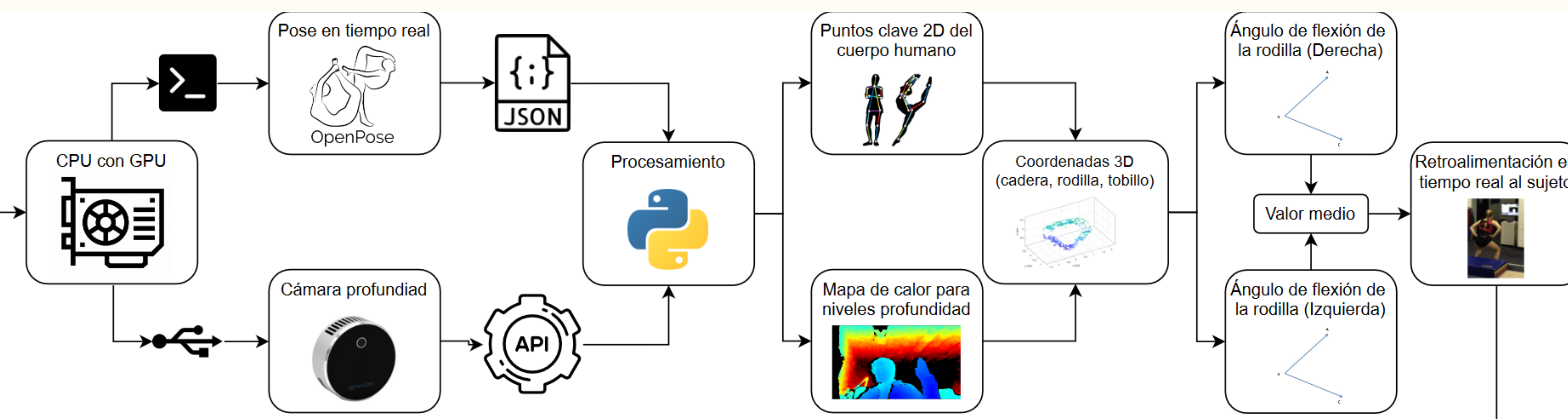


Figura 2. Diagrama de flujo integrador del proceso, incluye desde activación de dispositivos, recolección de datos y visualización procesada

Resultados

Sistema para **un usuario** en **tiempo real**, a través un programa escrito en Python que obtiene los datos directamente de la **L515** con su **API**, así como lectura de archivos **JSON** por cada **frame** para capturar los datos del **OpenPose**.

De esta manera, el programa no solo **recolecta** y **procesa** datos, sino que también **proyecta** la media de ángulo de flexión de rodilla con **Matplotlib**, así como la pose de OpenPose (pantalla) y profundidad de L515 (Figura 3).

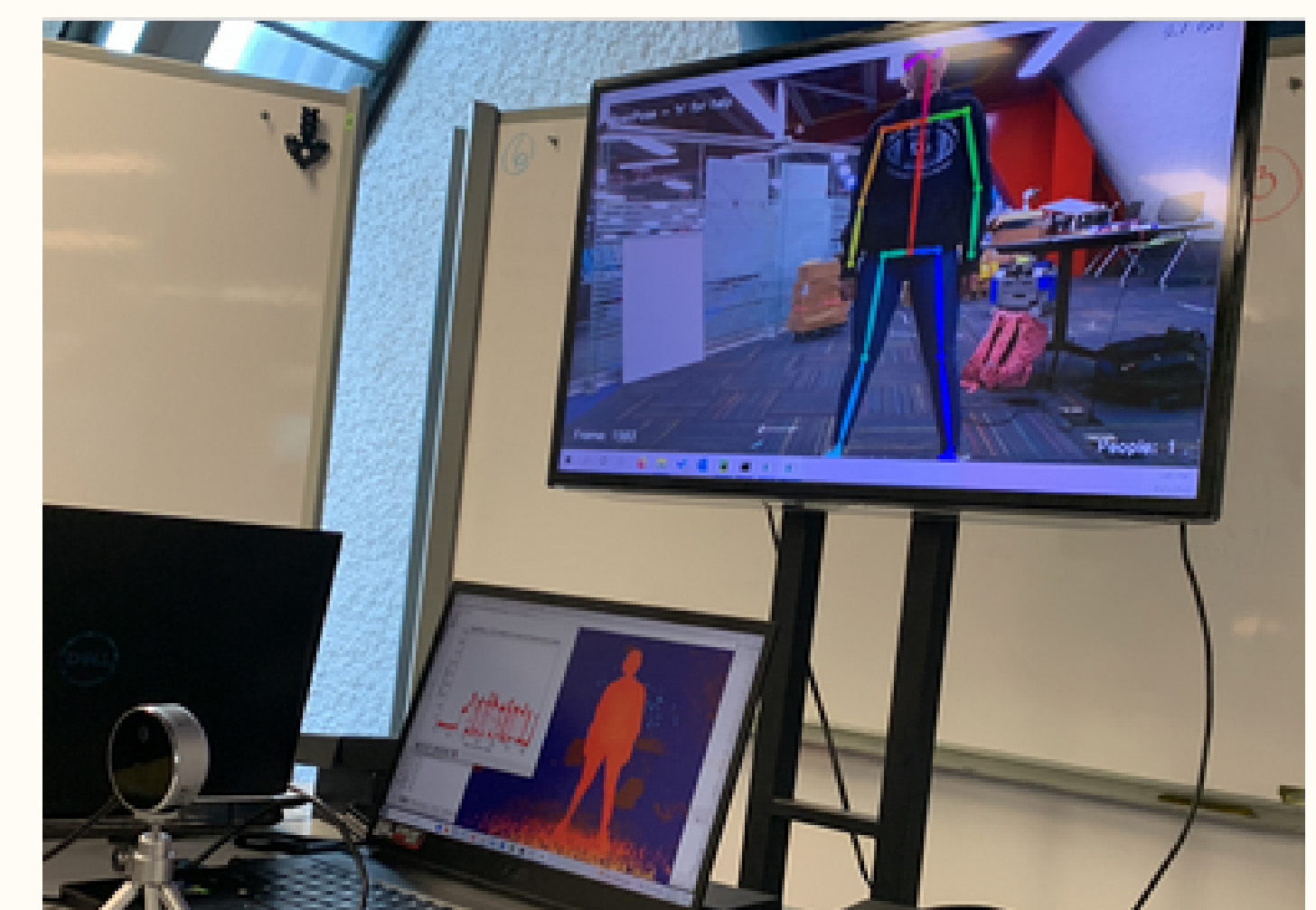


Figura 3. Proyección de profundidad L515 y ángulo de flexión de rodilla en Laptop, pose de OpenPose en pantalla

Con una mirada más enfocada en la **gráfica** que proyecta la media de ángulo de flexión de la rodilla, actualizada en **tiempo real**, en la Figura 4 se puede observar las distintas **etapas** que la atleta pasó para la prueba DVJ y como se refleja el **comportamiento** en el diagrama.

De esta manera, se analiza el **ángulo** de rodilla durante toda la prueba DVJ, así la atleta recibe **retroalimentación** en **tiempo real** para **incrementar** su ángulo de flexión [8], dónde las mujeres con colapso en valgo tienden a tener **menos ángulo** de flexión [2], y el objetivo es conseguir un **ángulo profundo** (> 40°-60°), para disminuir riesgo de fractura [9].

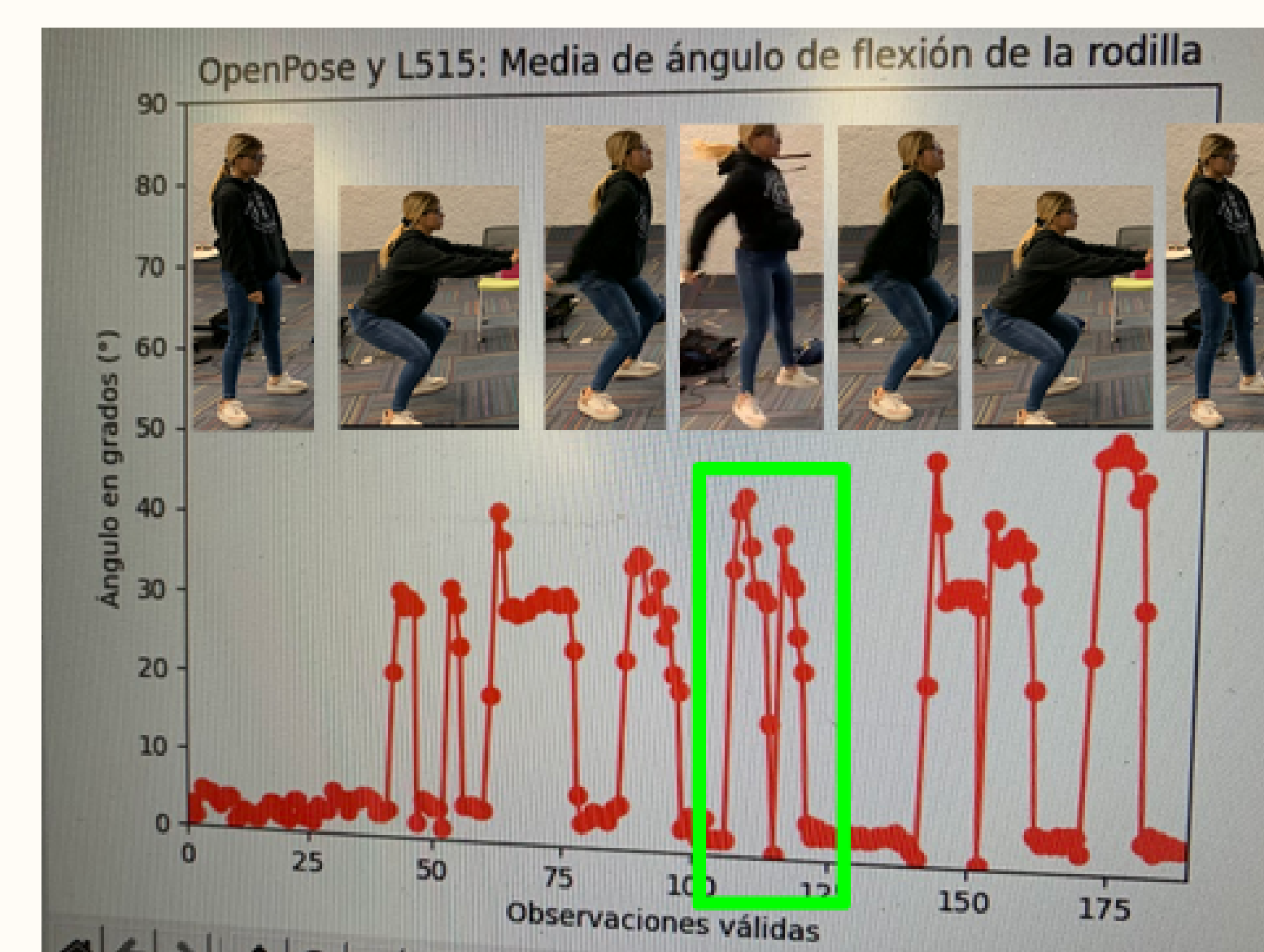


Figura 4. Gráfica de ángulo de flexión de rodilla en tiempo real con observaciones válidas



Figura 5. Ejemplo de la configuración y protocolo experimental implementado

Conclusión

La metodología de **alto impacto** calcula parámetros que miden el riesgo de lesión en LCA. De esta manera, es posible tener un **monitoreo constante** en atletas femeninas con el protocolo que reduce el riesgo de lesión, con un sistema de **bajo costo, portátil y sin marcadores físicos**.

pues se evita el uso de marcadores y configuraciones complejas, con un rendimiento similar a configuraciones complejas mientras que se aprovechan **tecnologías de vanguardia** como VC en contexto de Inteligencia Artificial (IA) [10].

Referencias bibliográficas

- [1] Lamplot JD, Bogunovic L, Wright RW. Revision anterior cruciate ligament injuries. In: Miller MD, Thompson SR, eds. DeLee, Drez, & Miller's Orthopaedic Sports Medicine. 5th ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2020:chap 99.
- [2] Shultz, S. J. (2008). Editorial. ACL Injury in the Female Athlete: A Multifactorial Problem That Remains Poorly Understood. *Journal of Athletic Training*, 43(5), 455-455. doi:10.4085/1062-6050-43.5.455
- [3] Solomon, D.H., Simel, D.L., Bates, D., Katz, J.N., & Schaffer, J.L. (2001). The rational clinical examination. Does this patient have a torn meniscus or ligament of the knee? Value of the physical examination. *JAMA*, 286 13, 1610-20.
- [4] Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (2017). Diagnóstico y tratamiento de las lesiones ligamentarias traumáticas en rodilla. Guía de Evidencias y Recomendaciones: Guía de Práctica Clínica. México, IMSS; 2017.
- [5] Cao, Z., Hidalgo Martinez, G., Simon, T., Wei, S., & Sheikh, Y. A. (2019). OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.
- [6] Falch, H. N., Røedergård, H. G., & van den Tillaar, R. (2020). Effect of Approach Distance and Change of Direction Angles Upon Step and Joint Kinematics, Peak Muscle Activation, and Change of Direction Performance. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2. doi:10.3389/fspor.2020.594567
- [7] Nyman, E., & Armstrong, C. W. (2015). Real-time feedback during drop landing training improves subsequent frontal and sagittal plane knee kinematics. *Clinical Biomechanics*, 30(9), 988-994. doi:10.1016/j.clinbiomech.2015.06.018
- [8] Ameer, M. A., & Muaidi, Q. I. (2017). Relation between peak knee flexion angle and knee ankle kinetics in single-leg jump landing from running: a pilot study on male handball players to prevent ACL injury. *The Physician and sportsmedicine*, 45(3), 337-343. doi:10.1080/00913847.2017.1344514
- [9] Demorat, G., Weinhold, P.S., Blackburn, T., Chudik, S.C., & Garrett, W.E. (2004). Aggressive Quadriceps Loading Can Induce Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 32, 477 - 483.
- [10] Candela-Leal, M. O., Presbítero-Espinosa, G., Ramírez-Mendoza, R. A., Lozoya-Santos, J. de J., & Ramírez-Moreno, M. A. (2022). Multi-Output Sequential Deep Learning Model for Athlete Force Prediction on a Treadmill Using 3D Markers. *Applied Sciences*, 12(11). doi:10.3390/app12115424