

## Módulo 4. Aplicación de los sistemas inerciales en diferentes test en los deportes de equipo

En este módulo, se expondrán los diferentes test útiles para la monitorización del proceso de entrenamiento a lo largo de una o más temporadas. Estos permiten conocer y estimar el estado de los distintos sistemas del jugador y, a su vez, detectar su evolución y las variaciones de su desempeño. De esta manera, se dilucidará qué actuaciones podrían optimizar el rendimiento desde una perspectiva condicional.

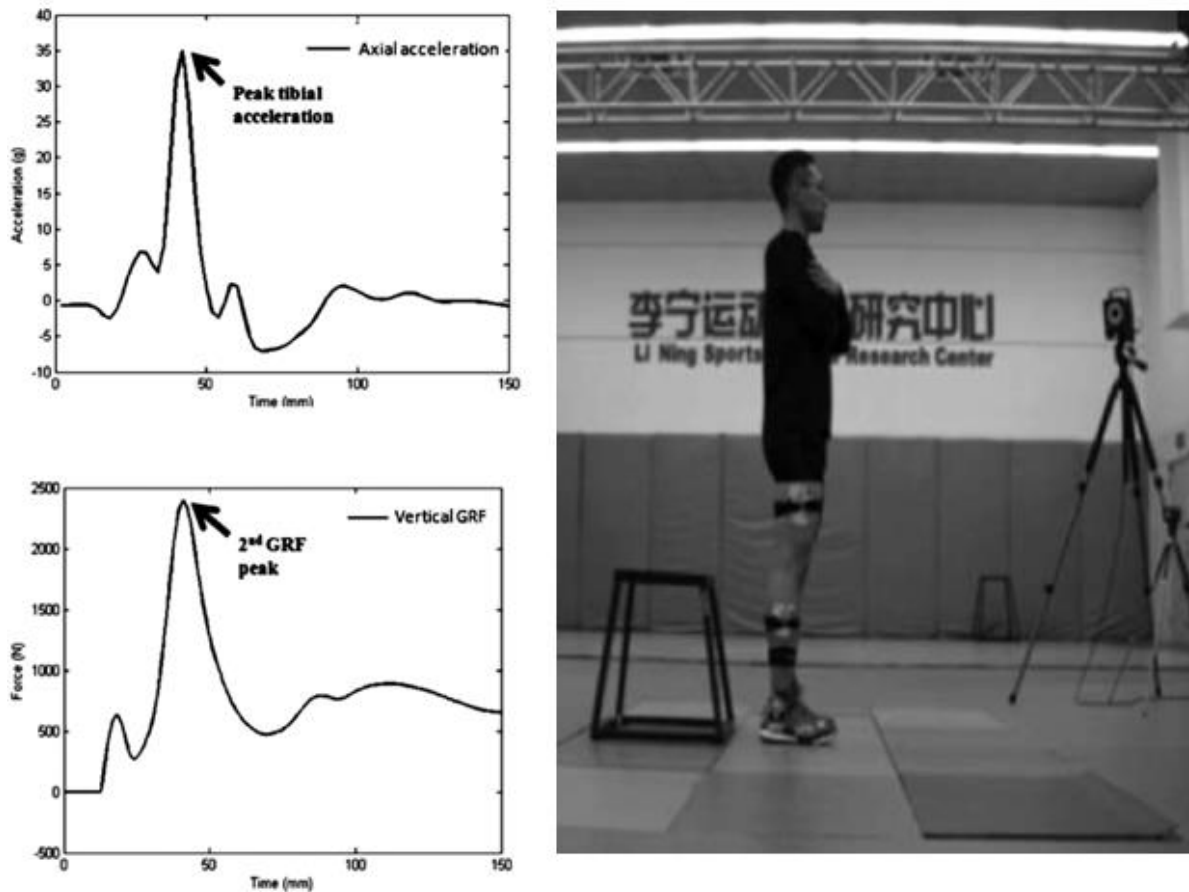
El proceso de evaluación, así como su posterior interpretación, tiene que involucrar al cuerpo técnico, al cuerpo médico y, por supuesto, al preparador físico.

Un jugador de baloncesto puede ser evaluado en campo, durante la práctica deportiva y en circunstancias más específicas con este fin. Algunos aspectos que pueden ser considerados de forma indirecta o estimada mediante esta tecnología son: la propiocepción, la fatiga, la estabilidad del core, la fuerza y la potencia, la amplitud del movimiento, el control neuromuscular y el nivel de acondicionamiento.

Para confiar en los datos que nos proporcionan los sistemas de medición es importante determinar su validez. De esta manera, se miden en plataformas de fuerza, tanto la fase de impulso como la de aterrizaje de los jugadores, cuando realizan un salto vertical. La plataforma de fuerza es, en este caso, el gold estándar. Así se establece la validez de los IMU's para este tipo de medidas.

En la figura 1, se ve cómo Wing Kai Lam y sus colaboradores (2015) compararon la fuerza de reacción del suelo producida en un drop jump, utilizando una plataforma de fuerza, con la estimación del pico de aceleración de la tibia en el aterrizaje. Se observa un comportamiento muy similar en ambos gráficos.

Figura 1: Comparación de un salto vertical realizado en una plataforma de fuerza y con un sistema inercial

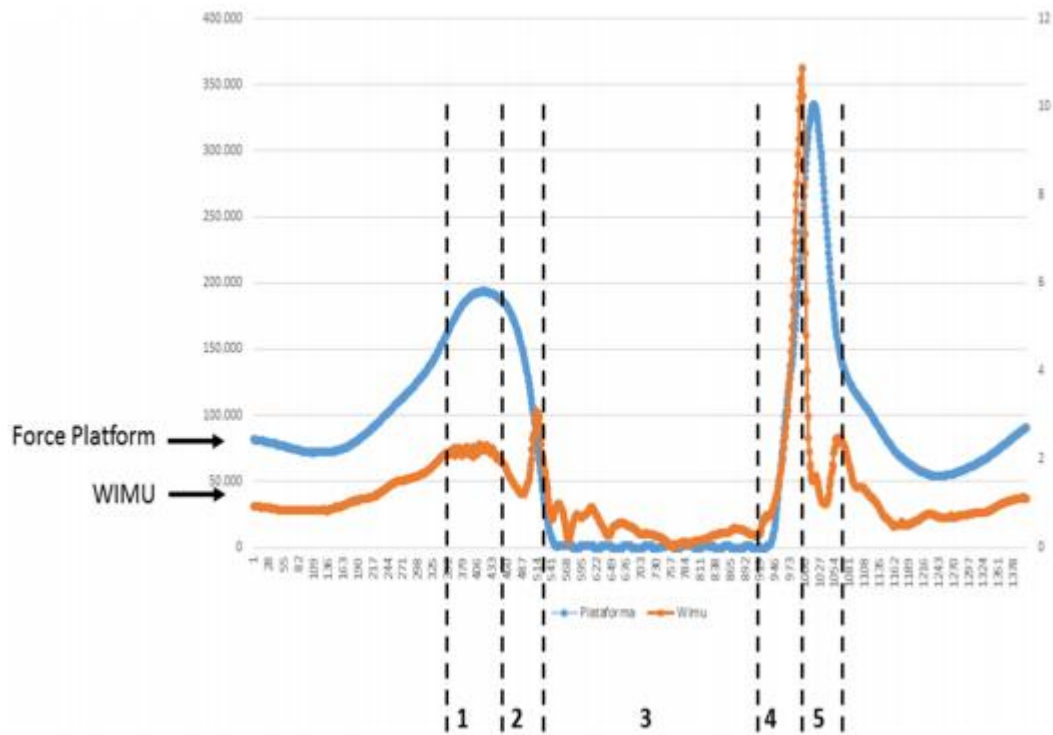


Fuente: Lam et al., 2015, p. 22.

De esta manera, se establece que este sistema inercial es adecuado para los impactos propios del aterrizaje en un salto.

Una vez contrastada esta información, el siguiente paso es asegurar la validez y la reproducibilidad del sistema que se utiliza en el FC Barcelona. Estos dispositivos inerciales, llamados Wireless Inertial Movement Unit (WIMU), pertenecientes a Real Track Systems, fueron validados y mostraron su reproducibilidad en un salto vertical. En la figura 2 se muestra un comportamiento muy parecido al gold estándar tomado con la plataforma de fuerza y el resultado obtenido con el dispositivo WIMU.

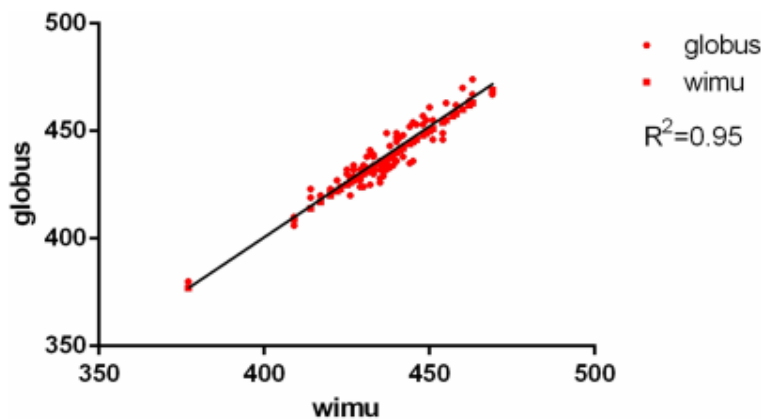
Figura 2: Comparación del registro de un salto realizado en la plataforma de fuerza y otro realizado con un dispositivo inercial (WIMU)



Fuente: Ortega, García-Rubio e Ibáñez, 2018, p. 4.

Las curvas que se producen son muy similares, lo que muestra un efecto positivo en la validación del dispositivo. La correlación entre los datos arrojados por ambos sistemas es casi perfecta y se establece en 0.95.

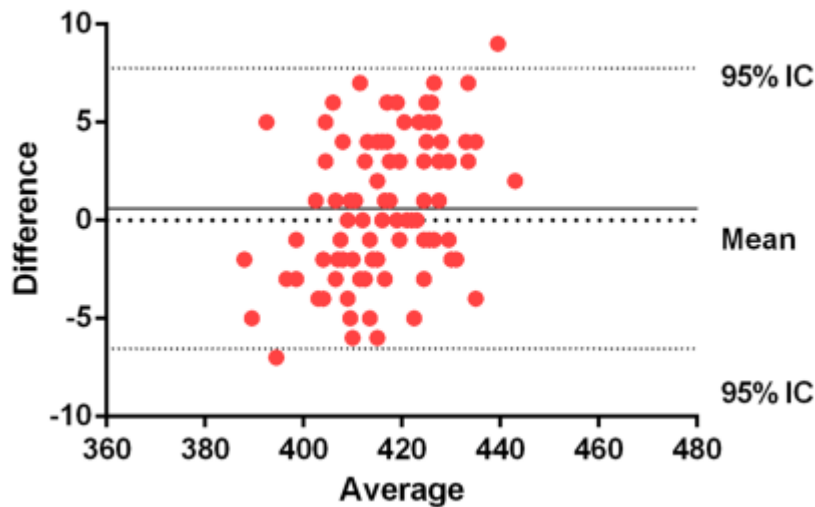
Figura 3: Gráfico de correlación entre los dispositivos WIMU y la plataforma de fuerza en la evaluación del salto vertical (CMJ, Counter Movement Jump en inglés)



Fuente: Ortega et al., 2018, p. 6.

La figura 4 muestra un análisis estadístico de Bland-Altman, que determina la reproductibilidad del test, en este caso, del salto vertical con contramovimiento (CMJ).

**Figura 4: Gráfico de reproductibilidad del test de salto CMJ con un dispositivo WIMU**

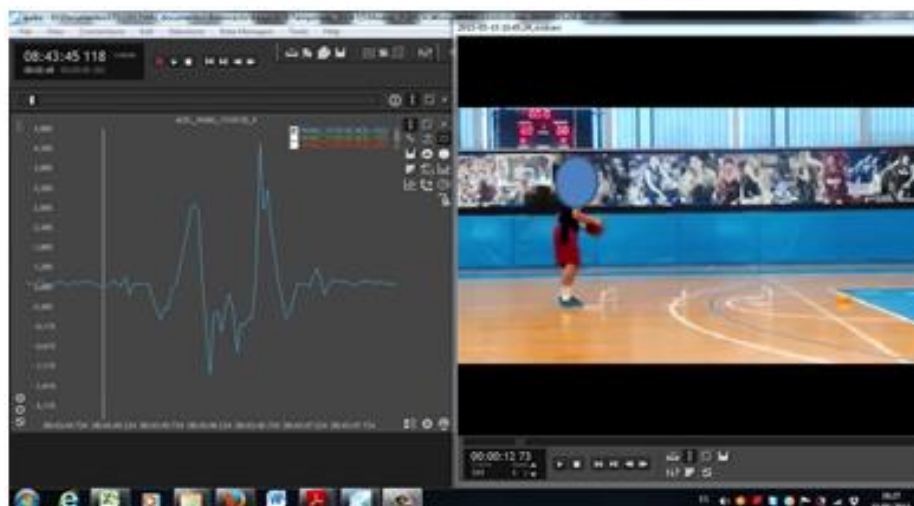


Fuente: Ortega et al., 2018, p. 7.

Así, se verifica que el sistema WIMU es válido y reproducible para medir el salto.

En la figura 5, se observa la aplicación práctica del test WIMU en el campo, para medir la realización de un lanzamiento a canasta. En la imagen, se muestra la dinámica del salto que realiza el jugador al ejecutar un tiro a la cesta. En la prueba se incorpora un condicionante para la ejecución: se colocan unas vallas para obligar al jugador a superar una determinada altura.

**Figura 5: Dinámica del salto en vivo con aceleración**

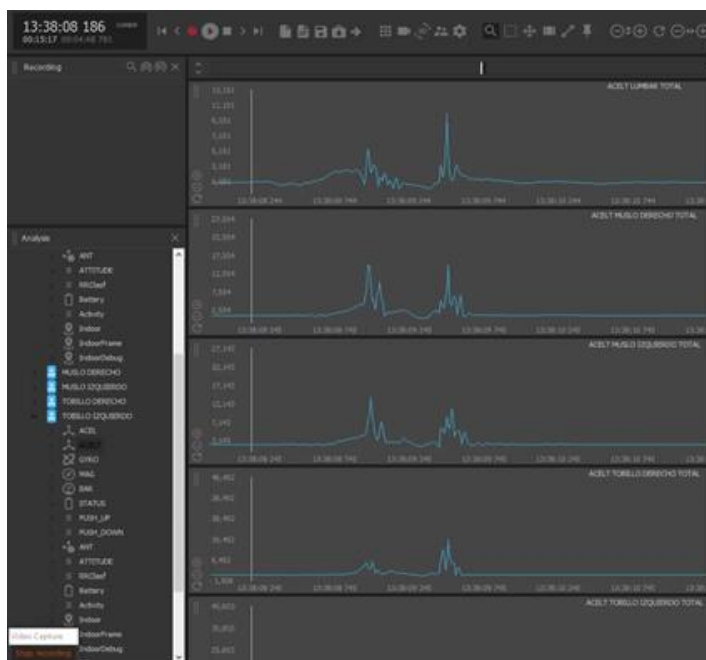


Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

De esta forma, se obtiene un feedback de los saltos en directo. Esto es especialmente útil en el aterrizaje, para optimizar el rendimiento de los jugadores en dicha instancia, ya que, por lo general, requieren de impactos de alta intensidad, relacionados con las lesiones.

A continuación, se analizará un salto sobre una valla, registrado por varios dispositivos WIMU distribuidos en diferentes zonas anatómicas del cuerpo (el tobillo, la rodilla, la parte baja de la espalda y la parte alta de la espalda). Es así como se realiza el salto y se analiza su impacto en las distintas partes del cuerpo en las que se ubicaron los dispositivos (figura 6).

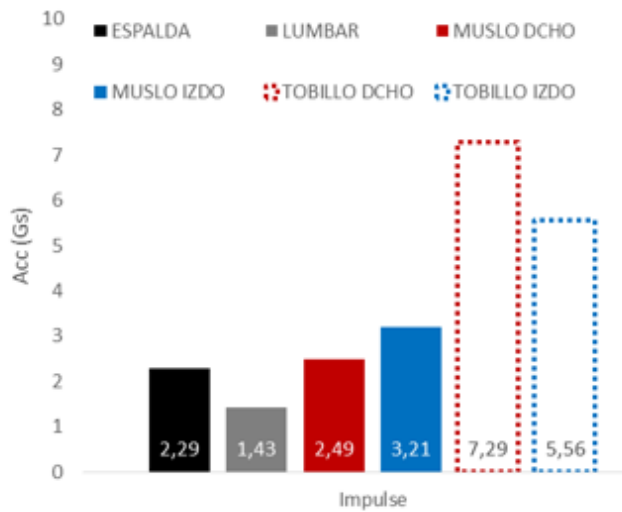
**Figura 6: Aceleración de un salto en distintas zonas anatómicas para evaluar su cinemática utilizando sensores inerciales**



Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

La figura 7 describe la dinámica de este salto registrada por cada uno de los sensores situados en las zonas indicadas. Con este método se obtiene, por ejemplo, la aceleración medida en G's de las diferentes zonas. La parte que más carga soporta es el tobillo, tanto en el impulso como en el aterrizaje. Se puede, por lo tanto, establecer las diferencias entre ambas extremidades en el salto, en la fase de impulso y en la de aterrizaje.

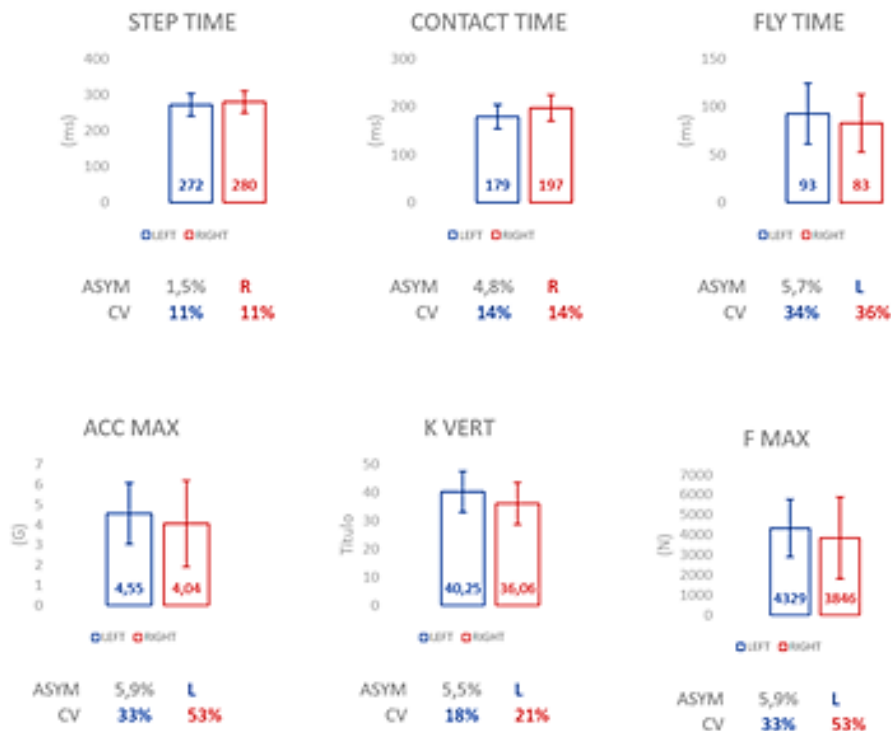
Figura 7: Aceleración medida durante el salto en distintas zonas anatómicas



Fuente: Elaboración propia (junto Xavi Reche) con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

Por otra parte, estos sistemas permiten analizar los impactos durante la carrera. La figura 8 muestra un informe generado por el sistema WIMU, en el que se analiza los impactos en una carrera lineal durante un sprint.

Figura 8: Resultados obtenidos en la medición de un sprint lineal



Fuente: Elaboración propia (junto Xavi Reche) con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

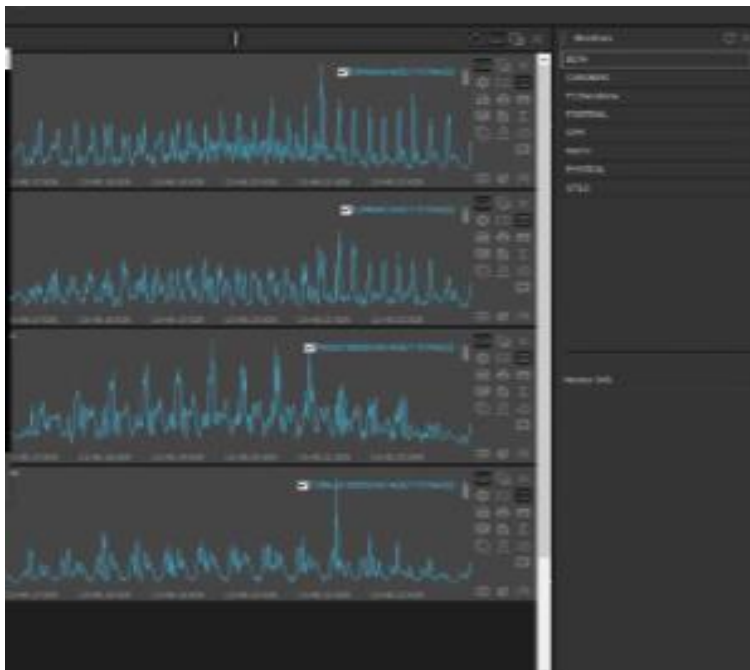
Las variables analizadas son: el tiempo de cada paso, el tiempo de contacto y de vuelo, la aceleración y la fuerza máxima. Además, se constata la stiffness vertical, lo que permite distinguir el rendimiento de ambas extremidades. De esta manera, se establece el valor porcentual de la simetría y el coeficiente de variación entre ellas.

Otra prueba que se realiza es el test de Course Navette. Se aplica 8 minutos solo para conocer el nivel de resistencia aeróbica submáxima del jugador. Los dispositivos WIMU permiten realizar, además de la medición de la frecuencia cardíaca durante la prueba, el test de steps para medir el comportamiento de ambas extremidades, tal como hemos mostrado en el ejemplo del sprint.

Por otra parte, también se puede analizar la respuesta de la rigidez vertical (stiffness) del jugador ante determinados estímulos de entrenamiento o de competición, y establecer si existen diferencias inducidas por la fatiga. Nuestras evidencias (datos no publicados) indican que el comportamiento de la rigidez podría ayudar en la detección de la fatiga.

La figura 9 refleja la aceleración de una carrera a máxima velocidad (los sensores estaban dispuestos en las mismas zonas anatómicas que se indicaron para la figura anterior).

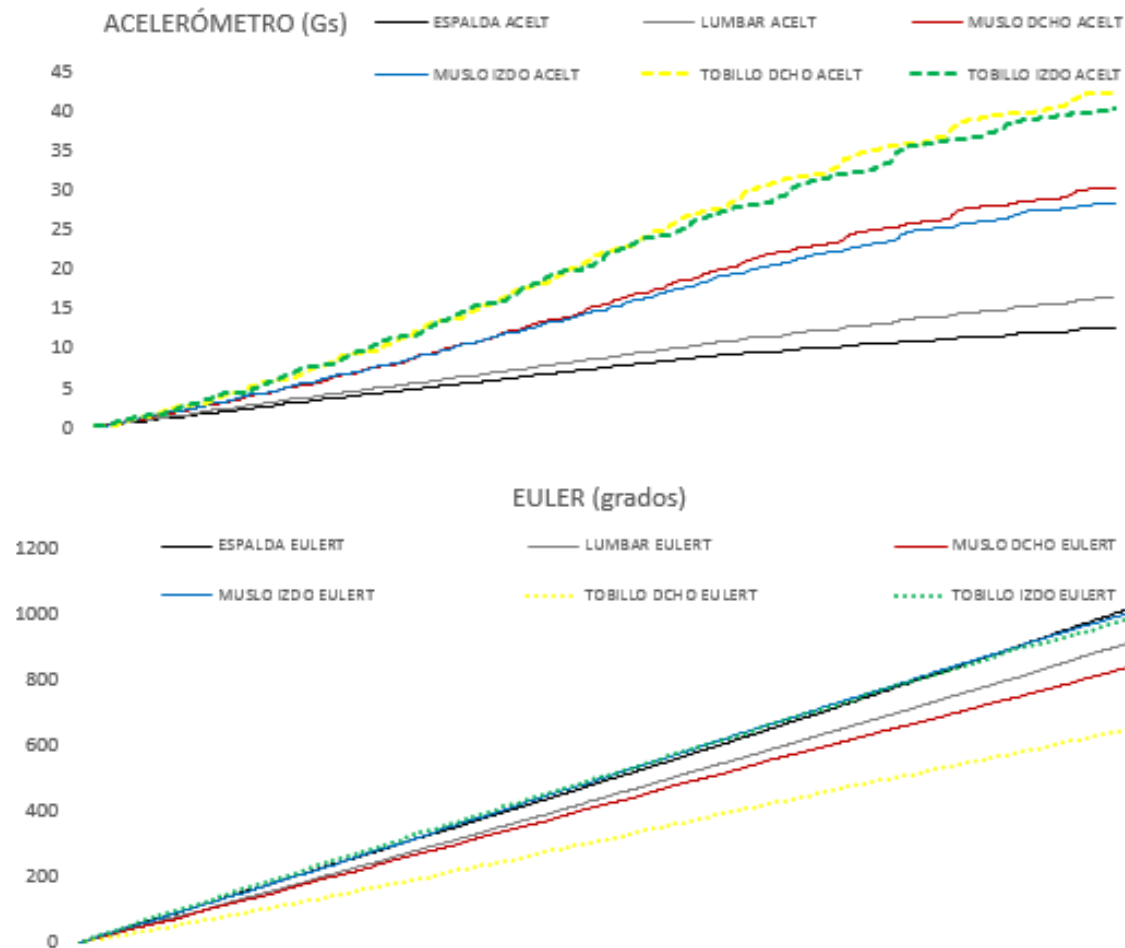
**Figura 9: Comportamiento de la aceleración en distintas zonas anatómicas durante una carrera máxima**



Fuente: Elaboración propia (junto Xavi Reche) con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

El análisis de estos datos (figura 10), donde se compara la aceleración medida en G's, muestra diferencias mínimas entre las mismas zonas anatómicas de las dos extremidades. Sin embargo, estas diferencias son notables y, por ende, relevantes.

**Figura 10: Comparación mediante la aceleración y Euler (grados) del comportamiento entre las distintas zonas anatómicas durante la carrera máxima**



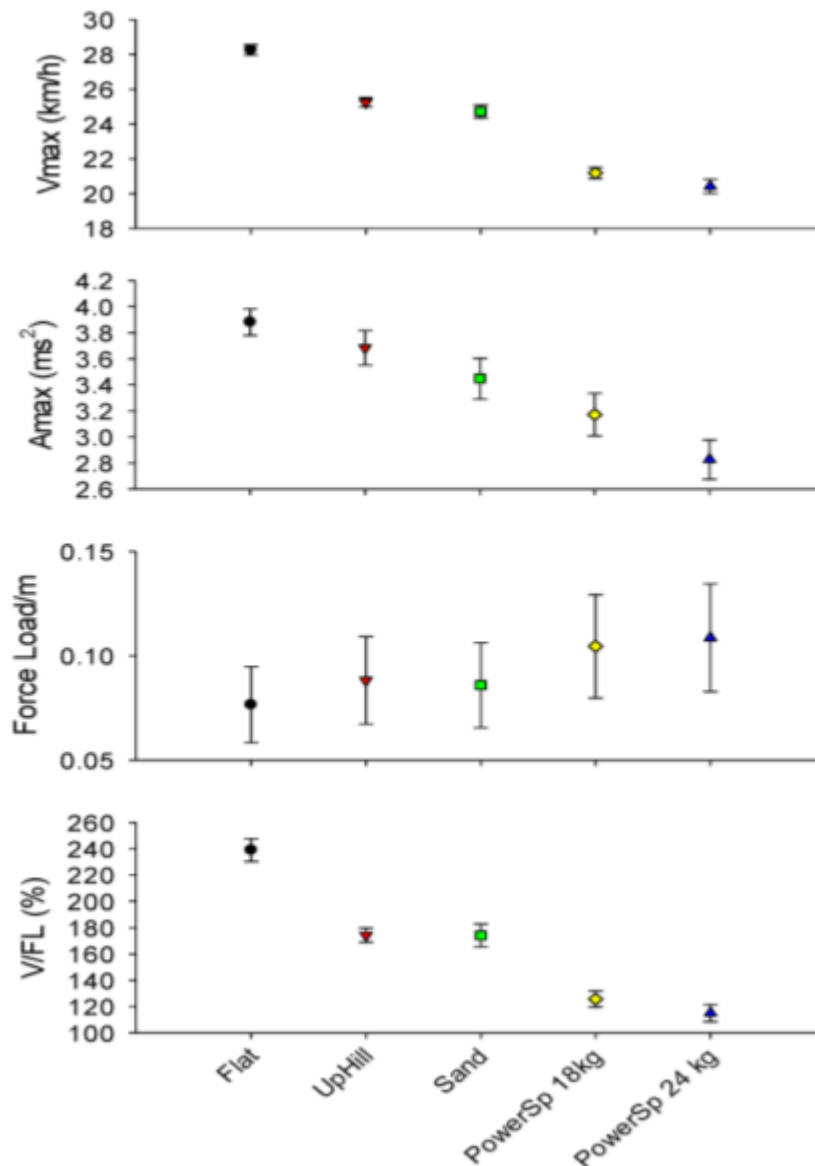
Fuente: Elaboración propia (junto Xavi Reche) con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

La diferencia en los grados entre ambos tobillos, muy probablemente, se corresponda con un déficit de dorsiflexión de uno de ellos. Gómez-Carmona y colaboradores en 2019 validaron la utilización de estos dispositivos para este tipo de mediciones. Nuevamente, los test propuestos son respaldados por la literatura científica.

Por su parte, Buchheit y Simpson (2017) llevaron a cabo un análisis sobre el sprint de 15 metros en diferentes condiciones: una superficie llana, una superficie con una pendiente de 4%, una superficie de arena y una máquina con resistencia de 18 y 24 kg que permitía simular la carrera. Buscaron la variable que tenía más peso en cada una de las superficies, y así, por ejemplo, tanto la

velocidad máxima como la aceleración máxima se alcanzaban en el sprint de 15 metros en plano. Sin embargo, la mayor producción de fuerza aparecía en la última de las condiciones propuestas (máquina de resistencia con dos cargas diferentes).

**Figura 11: Análisis de la carrera en 15 metros en diferentes condiciones**



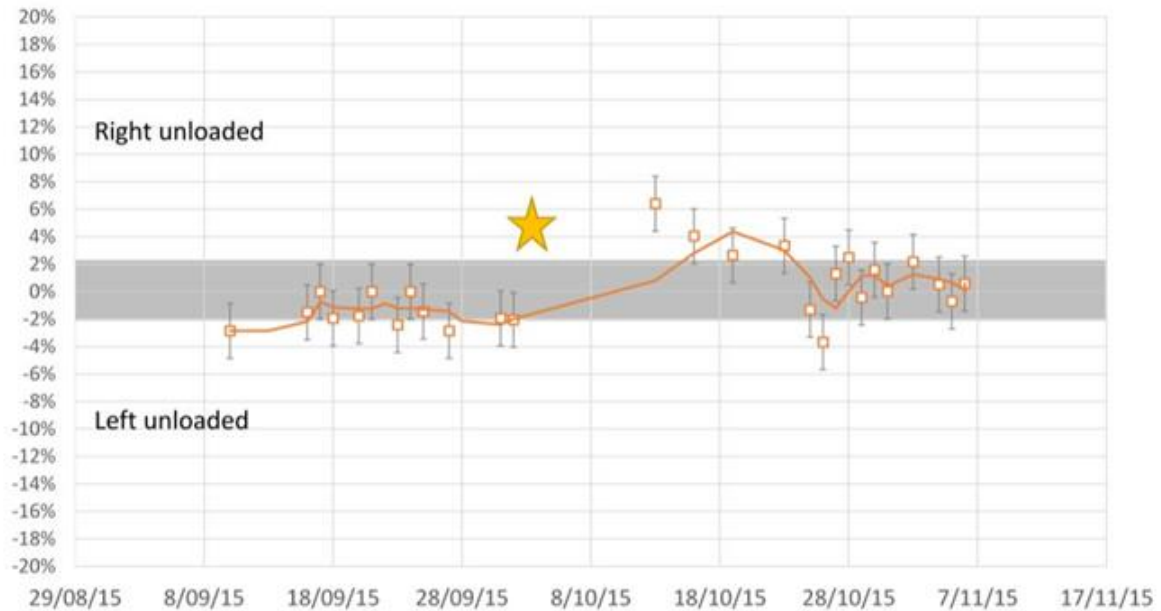
Fuente: Buchheit y Simpson, 2017, p. 39.

Otra aplicación práctica de estos dispositivos es el análisis de una tarea o sesión de entrenamiento de un jugador que ha sufrido una lesión de tobillo. De esta manera, se comparan los datos previos a la lesión con los actuales en condiciones similares, que son obtenidos durante el proceso de readaptación. La figura 12 muestra cómo el jugador en estudio soportaba una carga similar en los dos tobillos antes de la lesión. Sin embargo, justo después de la lesión en el tobillo derecho, se observa una menor producción de fuerza en



él (disminución de la carga soportada) respecto al tobillo no lesionado. Posteriormente, la evolución del proceso de return to play permite estabilizar la producción de fuerza (carga soportada) en ambas extremidades.

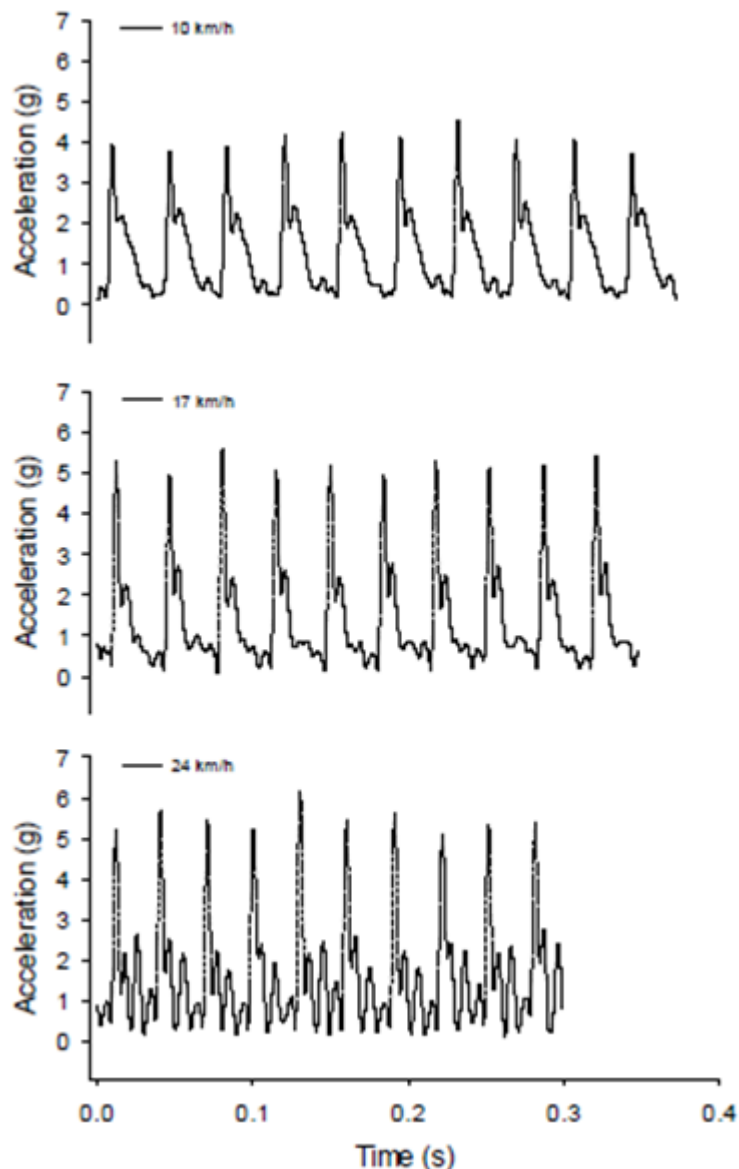
**Figura 12: Diferencias en la carga soportada en las extremidades inferiores en un jugador lesionado del tobillo**



Fuente: Buchheit y Simpson, 2017, p. 40.

Otra publicación interesante del mismo autor (Buchheit, Gray y Morín, 2015) analiza diez pasos de carrera a tres intensidades de velocidad diferentes, utilizando los sistemas inerciales.

**Figura 13: Análisis de la aceleración en G's de la carrera a distintas intensidades**

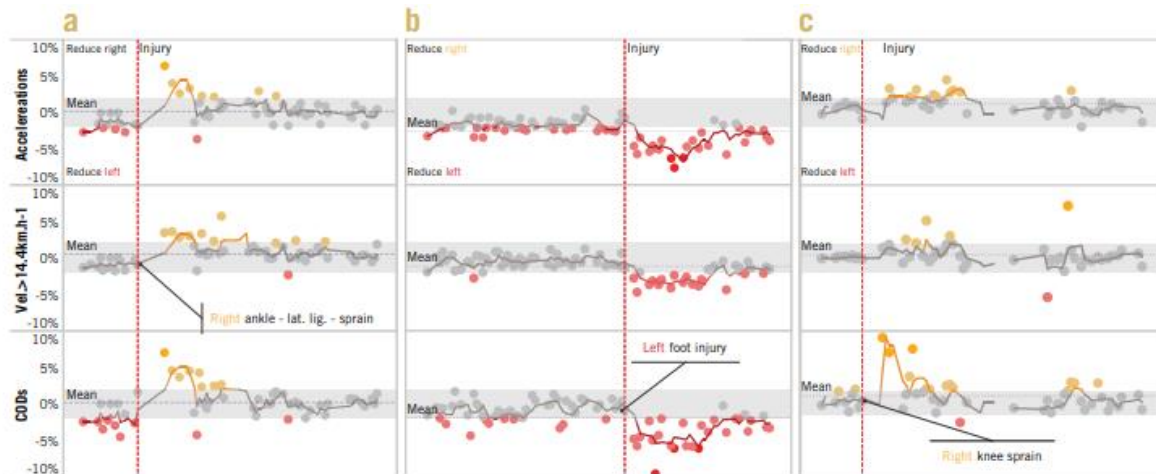


Fuente: Buchheit et al., 2015.

La principal conclusión de este estudio es que los sistemas inerciales permiten valorar el tiempo de contacto y la rigidez vertical (stiffness) durante la carrera. Además, posibilitan monitorizar la fatiga neuromuscular y el rendimiento en deportes que se basen en la carrera.

En otra publicación, Lacombe, Simpsons y Buchheit (2018) utilizan estos sistemas para monitorizar y evaluar las adaptaciones efectuadas antes, después y durante un proceso de readaptación a la competición en diferentes tipos de lesiones. Para ello, analizan distintas variables, como la distancia, la velocidad de alta intensidad y los cambios de dirección (figura 14).

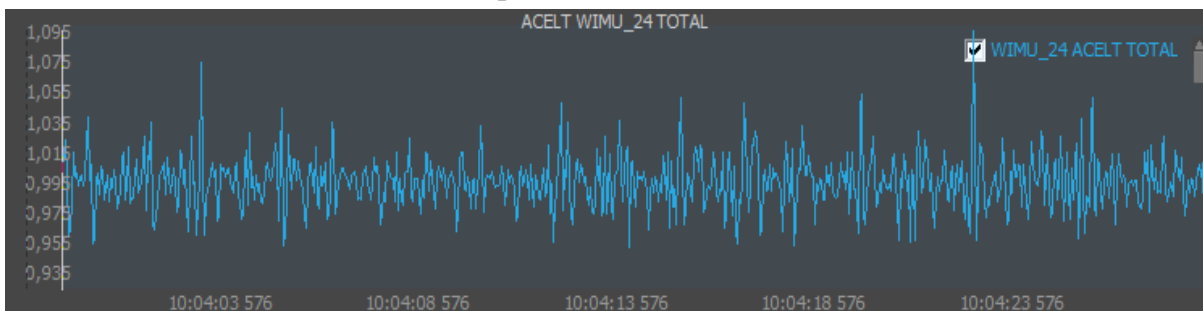
**Figura 14: Ejemplos de la evolución de la simetría en diferentes variables antes, durante y después de una lesión**



Fuente: Lacombe, Simpsons y Buchheit, 2018, p. 62.

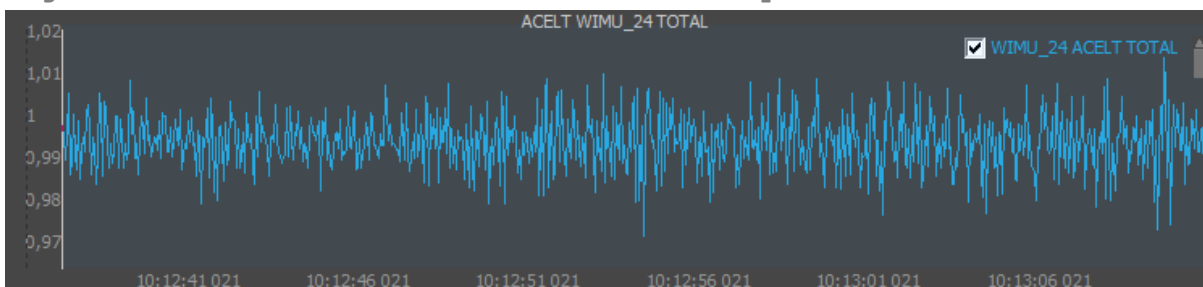
Además de los test presentados, los dispositivos inerciales permiten estimar la estabilidad del core. Se realizaron diferentes ejercicios que implicaban al core y se calculaba el coeficiente de variación (CV) de la señal de la aceleración total. De esta manera, se establecía un número que indicaba, de forma indirecta, la estabilidad requerida por ese ejercicio: a mayor resultado obtenido el ejercicio era más desafiante para el core (figura 15).

**Figura 15: Coeficiente de variación de un ejercicio de estabilidad del core realizado en cuadrupedia**



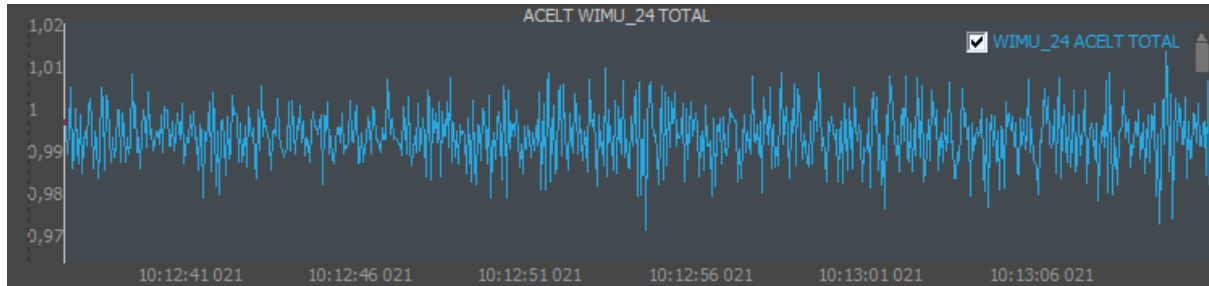
Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

**Figura 16: Coeficiente de variación de una plancha frontal**



Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

**Figura 17: Coeficiente de variación de una plancha lateral**



Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

La figura 15 muestra el coeficiente de variación ( $CV = 1,74$ ) de un ejercicio de estabilidad del core de baja intensidad realizado en cuadrupedia. La figura 16, por su parte, refleja una progresión del ejercicio anterior (plancha frontal) y obtiene un  $CV = 0,64$ . La figura 17 aporta el comportamiento del CV en el ejercicio de plancha lateral, que presenta un valor igual a  $0,91$ . Se posibilita así, la capacidad de establecer una progresión objetiva para el desafío del core. Nuevamente, la literatura científica nos sirve para avalar la utilización de los sistemas inerciales para analizar los diferentes elementos, en este caso, la estabilidad del tronco (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, Reche-Soto, Granero-Gil y Pino Ortega, 2018).

Esta misma idea se aplica en el CV para medir la estabilidad, el equilibrio en diferentes ejercicios, y para establecer el nivel de desafío de cada uno de ellos (1 o 2 apoyos, utilización de material desestabilizador, modificación del centro de gravedad, etc.). En este caso, no hay, todavía, evidencia científica.

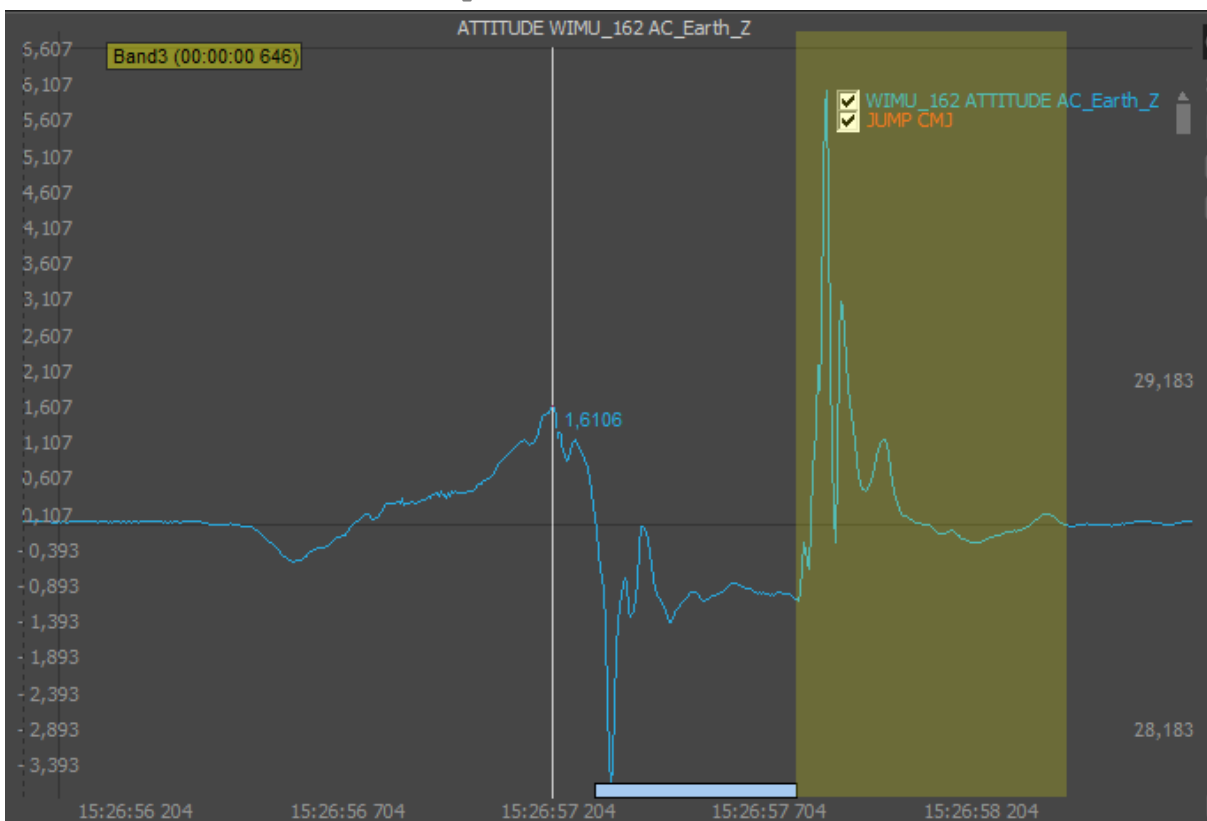
Asimismo, se puede medir la amplitud de movimiento, ya sea, por ejemplo, realizando una flexión de cadera o una dorsiflexión del tobillo. Esto permite determinar los grados del movimiento. El test de flexión de cadera también ha sido estudiado utilizando los sistemas inerciales, como es el caso de Muyor en 2017.

El siguiente test (figura 18) mide la estabilidad dinámica del aterrizaje sobre una pierna en un salto (CMJ). Se calcula el tiempo necesario hasta la estabilización, luego de que se ejecuta el salto. Este chequeo, además de permitir la detección de posibles déficits en la capacidad de estabilización, ayuda en el proceso de readaptación de una lesión. Esta prueba no está validada científicamente.

Estos dispositivos permiten, también, medir los siguientes elementos:

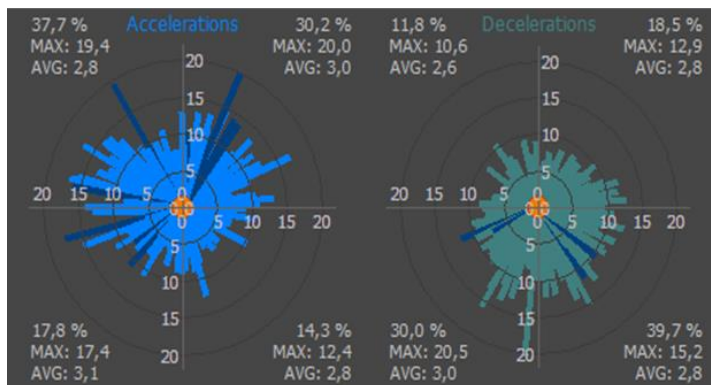
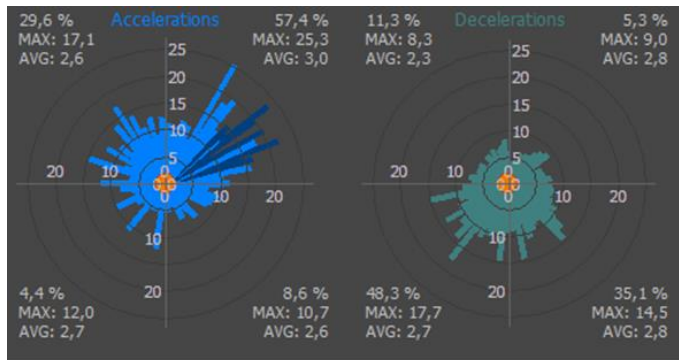
- la fuerza realizada en los cambios de dirección y establecer posibles déficits entre las extremidades, como así también comparar los valores entre diferentes jugadores que realizan la misma tarea;
- la fuerza producida en una sentadilla realizada en una máquina Smith con distintas cargas, diferenciando la fase concéntrica y la fase excéntrica;
- el número de aceleraciones y desaceleraciones en diferentes zonas de intensidad (figura 19), y
- la carga mecánica de un jugador corriendo en la cinta a diferentes intensidades (figura 20).

**Figura 18: Estabilidad dinámica del aterrizaje (tiempo hasta la estabilización) sobre una pierna en un salto CMJ**



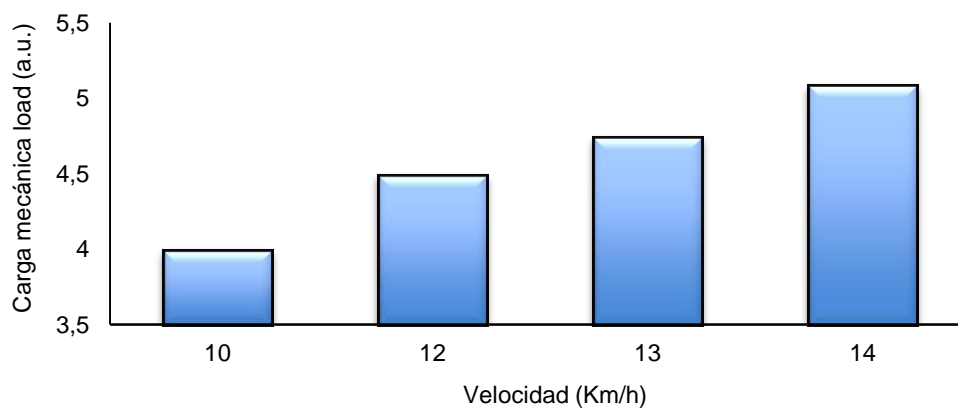
Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

Figura 19: Aceleraciones y desaceleraciones en una sesión técnica y táctica de un jugador en fase de readaptación a la competición



Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

Figura 20: Carga mecánica en la carrera en cinta a diferentes intensidades en la fase de readaptación a la competición de un jugador



Fuente: Elaboración propia con dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

## Referencias

**Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C., Reche-Soto, P., Granero-Gil, P. y Pino Ortega, J.** (2018). Valoración de la estabilidad del tronco mediante un dispositivo inercial - Trunk stability assesment using an inercial device. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 33, 199-203.

**Buchheit, M., & Simpson, B. M.** (2017). Player-Tracking Technology: Half-Full or Half-Empty Glass? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 35-41. doi: 10.1123/ijsp.2016-0499

**Buchheit, M., Gray, A. & Morin, J. B.** (2015). Assessing Stride Variables and Vertical Stiffness with GPS-Embedded Accelerometers: Preliminary Insights for the Monitoring of Neuromuscular Fatigue on the Field. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 698-701. Recuperado de <http://www.jssm.org>

**Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., González-Custodio, A., Olcina, G. & Pino-Ortega, J.** (2019). Using an Inertial Device (WIMU PRO) to Quantify Neuromuscular Load in Running: Reliability, Convergent Validity, and Influence of Type of Surface and Device Location. *Journal of Strength and Conditioning Research* 00(00)/1-9<sup>a</sup>. National Strength and Conditioning Association.

**Lacome, M., Simpson, B. & Buchheit, M.** (2018). 2018 Monitoring training status with player-tracking technology. Still on the road to Rome (Part 1), 55-63.

**Lam, W. K., Woo, J., Liebenberg, J. N., Cheung, J., Ryu, P. J., Yoon, S., & Park, S. K.** (2015). Tibial accelerations and ground reaction forces in basketball shoes from different landing heights. *Footwear Science*, 7(1), 21-23. doi: 10.1080/19424280.2015.1036941

**Muyor, J.** (2017). Validity and Reliability of a New Device (WIMU®) for Measuring Hamstring Muscle Extensibility. *International Journal of Sports Medicine*, 38(09), 691-695. doi: 10.1055/s-0043-108998

**Pino-Ortega, J., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J.** (2018). Validity and reliability of the WIMU inertial device for the assessment of the vertical jump. *PeerJ*, 6, e4709. doi: 10.7717/peerj.4709

