

EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD ANGULAR EN EL TEST DE ELEVACIÓN ACTIVA DE LA PIERNA RECTA: VALIDEZ Y FIABILIDAD DE UN DISPOSITIVO INERCIAL (WIMU PRO™)

Angular velocity assessment in the active straight leg raise test: Validity and reliability of an inertial device (WIMU PRO™)

José Pino-Ortega^{1,3}, Alejandro Hernández-Belmonte¹, Alejandro Bastida-Castillo^{1,3}, Carlos David Gómez-Carmona^{2,4}

¹ Universidad de Murcia

² Universidad de Extremadura

³ Grupo de Investigación BioVetMed & SportSci

⁴ Grupo de Optimización del Entrenamiento y el Rendimiento Deportivo (GOERD)

Correspondencia:

Carlos David Gómez-Carmona
Mail: cgomezcu@alumnos.unex.es

Recibido: 11/09/2017

Aceptado: 06/04/2018

Resumen

Actualmente, existe un aumento de la aplicación de los dispositivos inerciales para la cuantificación del rango activo de movimiento y de la variable velocidad angular en ejercicios con un centro de rotación. Por lo tanto, previo a su uso, se requiere que sea evaluada su validez y fiabilidad para tal fin. **Objetivos:** Los objetivos de esta investigación fueron describir la velocidad angular alcanzada en el test de elevación activa de la pierna recta (EAPR) y examinar la validez y fiabilidad inter-unidad de un dispositivo inercial para su medición. **Método:** 20 jugadores de fútbol de nivel nacional participaron voluntariamente en esta investigación, 10 jugadores juveniles (edad: 17.2 ± 0.87 años; altura: 1.77±0.08 cm; masa corporal: 67.96±3.4 kg; IMC: 21.7±1.2 kg/m²) y 10 jugadores senior (edad: 25.6 ± 4.24; altura: 1.80±0.05 cm; masa corporal: 73.35±4.2 kg; IMC: 22.63±1.7 kg/m²). Se realizaron diez repeticiones del test EAPR (cinco para cada pierna). Para el análisis de fiabilidad inter-unidad, se contrastó la medición de dos dispositivos inerciales WIMU PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España) que registraron el movimiento de forma simultánea, mientras que para establecer la validez se compararon los datos obtenidos con los registrados mediante análisis de video. El análisis y exportación de los datos del dispositivo inercial se realizó mediante el software S PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España), mientras que en los registrados por video se realizó mediante el software Kinovea®. **Resultados:** La velocidad angular media alcanzada por los participantes fue de 137.64±21.13°/s. Se obtuvieron excelentes resultados de validez (ICC=1.00; r=1.00) y fiabilidad inter-dispositivo (Bias=.41°/s; CV=.21%). **Conclusión:** El dispositivo WIMU PRO™ es un instrumento válido y fiable para la medición de la variable velocidad angular en el test EAPR. **Palabras clave:** dispositivo inercial; velocidad angular; rango activo de movimiento; rendimiento.

Abstract

Currently, there is an increase in the inertial devices application to measure active range of movement and angular velocity in exercises with a centre of rotation. Therefore, before it uses, a validity and reliability analysis of these devices are required. **Objectives:** The aims of this research were to describe the angular velocity performed in the active straight leg raise (EAPR) test and to assess the validity and between-units reliability of an inertial device for its measure. **Method:** 20 national-level football players volunteered to participate in this study, 10 youth players (age: 17.2 ± 0.87 years; height: 1.77±0.08 m; body mass: 67.96±3.4 kg; BMI: 21.7±1.2 kg/m²) and 10 senior players (age: 25.6 ± 4.24 years; height: 1.80±0.05 m; body mass: 73.35±4.2 kg; BMI: 22.63±1.7 kg/m²). 10 trials of EAPR test (5 trial with each leg) were performed. To assess between-unit's reliability, two inertial devices WIMU PRO™ (RealTrack Systems, Almeria, Spain), that registered simultaneously, were compared. Instead, video analysis was used as criterion to validity assesment. The analysis and export process of inertial device data was realized by S PRO™ software (RealTrack Systems, Almeria, Spain). For video-analysis, this process was realized by Kinovea®. **Results:** The angular velocity average performed by the athletes was 137.64±21.13°/s. A perfect validity between video analysis and WIMU PRO™ (ICC=1.00; r=1.00) and a very good reliability between WIMU PRO™ devices (Bias=.41°/s; CV=.22%) was found. **Conclusion:** WIMU PRO™ is a reliable and valid device to measure angular velocity in EAPR test. **Keywords:** inertial device; angular velocity; active range of movement; performance.

Catalogada como una magnitud física, la velocidad permite expresar el desplazamiento que realiza un cuerpo en una unidad determinada de tiempo. En función del tipo de desplazamiento realizado por el objeto en cuestión, se pueden distinguir principalmente dos tipos de velocidad: lineal y angular. Dentro del ámbito deportivo, y concretamente en lo que a levantamientos de cargas y desplazamientos se refiere, la velocidad lineal ha sido fruto de medición en los últimos años en diferentes ejercicios como: press de banca (García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, y Haff, 2018), remo tumbado (Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez, y Pallarés, 2013), sentadilla (Pareja-Blanco et al., 2017; Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, y González-Badillo, 2017), press militar (Morán-Navarro et al., 2017) o dominadas (Muñoz-López, Marchante, Cano-Ruiz, Chicharro, y Balsalobre-Fernández, 2017). El movimiento rectilíneo realizado en todos estos ejercicios, permite el registro de los mismos a través de transductores lineales de velocidad. Por otro lado, la velocidad angular se caracteriza por el desplazamiento de un cuerpo a través de un ángulo teniendo en todo momento un centro de rotación/giro. En el ámbito deportivo, la velocidad angular es evaluada principalmente a través de un sensor denominado giroscopio, permitiendo la medición de parámetros cinemáticos en acciones con movimiento rotatorio, como la extensión de rodilla o tobillo (Arai et al., 2008; Arai, Obuchi, y Shiba, 2017) .

El número de investigaciones que centran su estudio en evaluar la velocidad angular, es muy reducido en comparación con lo que se centran en la velocidad lineal como objeto de estudio. Ahora bien, la naturaleza articulada del cuerpo humano, hace que éste realice principalmente movimientos angulares a través de los distintos segmentos corporales. El hecho de evaluar este tipo de velocidad proporcionaría una mayor cantidad información de los diferentes grupos musculares, en lo que a velocidad de contracción se refiere. Ejemplo de esta musculatura susceptible de evaluar como consecuencia de su estrecha relación con parámetros de rendimiento deportivo, son los músculos flexores y extensores de la cadera (Deane, Chow, Tillman, y Fournier, 2005; Stearns, Keim, y Powers, 2013; Stearns y Powers, 2014). Dentro de la amplia gama de test que evalúan esta musculatura, el test de elevación activa de pierna recta (EAPR) resulta ser uno de los más utilizados. Durante este test, el sujeto tumbado decúbito supino sobre una camilla, eleva la pierna voluntariamente con la rodilla extendida, produciéndose una acción excéntrica sobre la musculatura posterior del muslo y concéntrica sobre la musculatura encargada de la flexión de cadera (Boyd y Villa, 2012).

Para llevar a cabo el test EAPR, se han utilizado instrumentos como inclinómetros (Hall, Cacho, McNee, Riches, y Walsh, 2001), goniómetros manuales (Choi, Cynn, Yoon, Choi, y Lee, 2014) o electro-goniómetros (Hanney, Ridehalgh, Dawson, Lewis, y Kenny, 2016; Sierra-Silvestre, Torres-Lacomba, y de la Villa Polo, 2017). Esta instrumentación permite conocer el rango activo de movimiento (RAM) de la musculatura extensora de cadera pero, por el contrario, omite la evaluación de la musculatura flexora a consecuencia de la incapacidad para evaluar la velocidad angular generada por la pierna elevada (Askling, Nilsson, y Thorstensson, 2010; Luque-Suárez, Fuente-Hervías, Barón-López, y Labajos-Manzanares, 2010; Ylinen, Kautiainen, y Häkkinen, 2010). De esta manera, surge la necesidad de evaluar test como el EAPR con nuevos dispositivos que dispongan de sensores como el giroscopio, necesarios para obtener información simultánea de la musculatura agonista y antagonista. En los últimos años, el giroscopio se ha integrado en un mismo dispositivo, junto con otros sensores como el acelerómetro o el magnetómetro, dando lugar a instrumentos conocidos como unidades inerciales de medición (Inertial Measurement Unit, IMU) (Wu et al., 2007). En definitiva, estos dispositivos, han permitido aumentar las posibilidades de medición de parámetros corporales, principalmente debido a su portabilidad (Fong y Chan, 2010; Ha, Saber-Sheikh, Moore, y Jones, 2013; Jin, Nagasaki, y Wada, 2017; Muyor, 2017; Sun et al., 2017).

Por tanto, los objetivos de esta investigación fueron describir la velocidad angular alcanzada por los participantes en el test de elevación activa de la pierna recta (EAPR) y examinar la validez y fiabilidad inter-unidad del dispositivo inercial WIMU PRO™ para su medición.

Método

Participantes

20 jugadores de fútbol de nivel nacional participaron voluntariamente en esta investigación, 10 jugadores juveniles (edad: 17.2 ± 0.87 años; altura: 1.77 ± 0.08 cm; peso: 67.96 ± 3.4 kg; IMC: 21.7 ± 1.2 kg/m²) y 10 jugadores senior (edad: 25.6 ± 4.24 años; altura: 1.80 ± 0.05 cm; peso: 73.35 ± 4.2 kg; IMC: 22.63 ± 1.7 kg/m²). Como criterio de inclusión, todos los participantes no debían presentar ningún problema de salud ni lesión musculoesquelética. La altura de los sujetos se registró durante una inspiración máxima mediante un tallímetro de pared (SECA, Hamburgo, Alemania). La masa corporal se obtuvo mediante un monitor de composición corporal modelo BC-601 (TANITA, Tokio, Japón). Los participantes fueron informados previamente de los detalles de la investigación y de sus posibles riesgos y beneficios mediante un consentimiento informado. El estudio, el cual siguió las directrices del código de ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki, 2013), fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Murcia.

Material

Todas las repeticiones realizadas por los participantes fueron registradas mediante una cámara EX-ZR1200 (CASIO, Tokio, Japón), utilizada como criterio de medida, para analizar el RAM y el tiempo de duración que los atletas necesitan para completar cada repetición del test AEPR. Por otra parte, cada participante portaba dos dispositivos WIMU PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España). Los dispositivos se encontraban en la parte externa del tobillo a una distancia de 2 centímetros en paralelo, fijados mediante una banda elástica específica, según muestra la figura 1. Antes de colocar los dispositivos, estos fueron calibrados y sincronizados siguiendo las indicaciones del fabricante.



Figura 1. Fijación de los dispositivos WIMU PRO™ mediante una banda elástica y posicionamiento final de los mismos en la parte externa de la pierna en uno de los participantes en esta investigación.

El dispositivo inercial WIMU PRO™ contiene 3 giroscopios triaxiales a través de los cuales se puede detectar la velocidad angular con un fondo de escala de 2000 grados por segundo. Cada dispositivo además contiene un microprocesador de 1 Ghz, 8 GB de memoria interna y un conector USB de alta velocidad para recoger, grabar y descargar datos. El dispositivo tiene una autonomía de 4 horas gracias a su batería interna, un peso de 65 gramos y unas dimensiones de 81x45x16 mm. En esta investigación, el sensor giroscopio ha sido programado para recoger datos a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz.

Protocolo

Los deportistas visitaron en dos ocasiones el laboratorio. En la primera de ellas, se llevó a cabo una sesión de familiarización donde los participantes experimentaron con el material y el protocolo además de realizar las mediciones antropométricas. En la segunda sesión, 10 repeticiones del test EAPR fueron realizadas (5 con cada pierna), dando como total una suma de 200 repeticiones entre todos los participantes.

El protocolo utilizado fue el test de elevación activa de la pierna recta (EAPR) (Boyd y Villa, 2012). Durante el protocolo, el ejecutante se mantuvo acostado en posición de decúbito prono sobre una camilla. Los brazos se posicionaron paralelos al cuerpo. La pierna que no realiza la ejecución del movimiento se mantuvo durante la medición extendida y descansando sobre la camilla. Después, el participante de forma voluntaria realizó una flexión de cadera con la pierna completamente estirada a la máxima intensidad posible. Durante la ejecución, se aseguró que los participantes mantuvieron las curvaturas fisiológicas y la pelvis en posición neutra en todo momento (figura 2). Entre repeticiones se realiza un descanso pasivo de 10 segundos (Hu et al., 2012).

Antes del comienzo de la sesión, los participantes realizaron un calentamiento general de 5 minutos de carrera a pie a intensidad aeróbica (PSE 4-5/10) y 10 minutos de calentamiento específico compuesto de estiramientos balísticos y ejercicios de movilidad articular de la cadera y el tren inferior. El intervalo del calentamiento se monitorizó en tiempo real mediante el software S PRO™ para comprobar que los dispositivos funcionaban correctamente. Al terminar el test, los sujetos realizaron 5 minutos de carrera continua a baja intensidad.



Figura 2. Realización del test activo de elevación de la pierna recta en uno de los participantes en esta investigación.

Procesamiento del dato

La principal variable analizada en esta investigación es la velocidad angular media (ω) en la fase concéntrica del movimiento y la cual se expresa en grados por segundo ($^{\circ}/s$). Para analizar la validez del dispositivo inercial para la medición de la velocidad angular se utilizó como medida criterio el análisis de video realizado a través del software Kinovea®. Gracias a este software, se analizaron los grados obtenidos y la duración de cada repetición. La velocidad angular se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{\text{Rango de movimiento (Grados)}}{\text{Duración de la ejecución (Segundos)}}$$

Para analizar y extraer los datos del dispositivo inercial de cada una de las repeticiones registrado gracias a los giroscopios del dispositivo inercial WIMU PRO™, se utilizó el software S PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos a través del análisis de video y los dispositivos WIMU PRO™ se presentaron como media \pm desviación estándar. Para clasificar las repeticiones analizadas para su posterior análisis, se crearon 3 grupos mediante su distribución en percentiles en función de la velocidad angular alcanzada en cada una de las repeticiones máximas. Para el análisis de la validez del dispositivo WIMU PRO™ con respecto a la medida criterio (análisis de video mediante el software Kinovea®) se utilizaron las pruebas estadísticas coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de correlación intraclase (ICC). Para interpretar los valores de ICC se realizó siguiendo a Vincent y Weir (2012): >0.90 alto, $0.80-0.89$ moderado y, <0.80 cuestionable; mientras que para interpretar el valor r de Pearson se utilizaron las indicaciones de Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin (2009): insignificante ($r^2 < 0.1$), pequeña ($0.1 < r^2 < 0.3$), moderada ($0.3 < r^2 < 0.5$), alta ($0.5 < r^2 < 0.7$), muy alta ($0.7 < r^2 < 0.9$), casi perfecta ($r^2 > 0.9$) y perfecta ($r^2 = 1$). Para el análisis de la fiabilidad, la prueba estadística Bland-Altman fue llevada a cabo presentando la media de diferencias (Bias) junto con los límites de acuerdo (LOA) al 95% y el coeficiente de variación (CV) como medida de magnitud de las diferencias.

Resultados

En la tabla 1 se representa el análisis descriptivo y el análisis de la validez de la velocidad angular en el test de elevación activa de la pierna recta entre el dispositivo inercial WIMU PRO™ y el análisis de video mediante el software Kinovea® (ver figura 3 para más detalle).

Tabla 1. Análisis de la validez del registro de la velocidad angular (grados/segundo) del sistema inercial WIMU PRO™ en relación al criterio de referencia (análisis de video) a través de los estadísticos ICC con 95% intervalo de confianza y r de Pearson.

Intensidad	Kinovea®	WIMU PRO™	ICC	CI 95%		r
	(Media \pm DE)	(Media \pm DE)		B	A	
Grupo 1	113.40 \pm 9.86	113.33 \pm 10.00	.99	.99	1.00	1.00
Grupo 2	140.60 \pm 4.97	140.31 \pm 4.86	.99	.98	.99	.99
Grupo 3	160.31 \pm 10.28	160.00 \pm 10.21	.99	.99	1.00	1.00
Total	137.86 \pm 21.23	137.64 \pm 21.13	1.00	1.00	1.00	1.00

Nota. DE: Desviación estándar; ICC: Coeficiente de correlación intraclase; CI: Intervalo de confianza (valores B: Bajo y A: Alto).

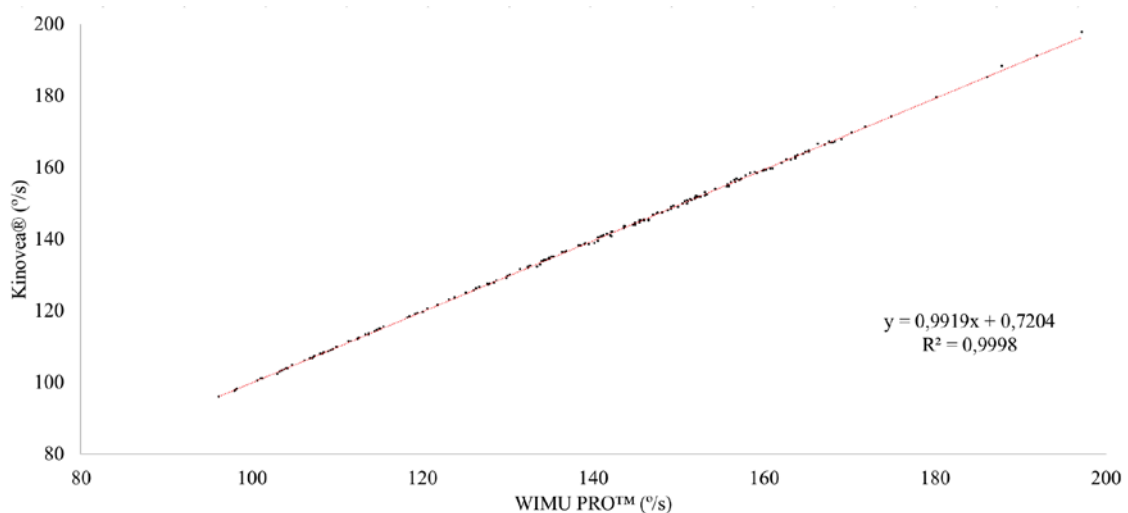


Figura 3. Gráfico de dispersión para el análisis de la validez del dispositivo WIMU PRO™ respecto al video análisis mediante el software Kinovea® como medida criterio.

Se encuentra una media de velocidad angular alcanzada de 137.64 ± 21.13 °/s, obteniendo la repetición a mayor intensidad una velocidad de 197.62 °/s, mientras que la repetición a menor intensidad obtuvo una velocidad de 96.19 °/s. El análisis de validez reporta una correlación perfecta entre el dispositivo inercial WIMU PRO™ y el video análisis en la medición de la variable velocidad angular ($ICC=1.000$; $r=1.000$).

En la tabla 2 se muestra el análisis de la fiabilidad de la velocidad angular en el test EAPR entre los dispositivos inerciales WIMU PRO™. Los mejores valores de fiabilidad se encuentran en el grupo 1 ($Bias=.016$; $CV=.095\%$). De forma global, se ha encontrado una muy buena fiabilidad interdispositivos ($Bias=.406$; $CV=.217\%$) (ver figura 4 para más detalle).

Tabla 2. Bland-Altman para el análisis de la fiabilidad inter-dispositivos para la medición de la velocidad angular (grados/segundo). Media de diferencias, límites de acuerdo al 95% y coeficiente de variación.

Intensidad	WIMU PRO™ 1	WIMU PRO™ 2	Bias (°/s)	95% LOA (°/s)		CV (%)
	(Media \pm DE)	(Media \pm DE)		B	A	
Grupo 1	113.41 \pm 10.01	113.25 \pm 10.00	.02	-.12	.04	.09
Grupo 2	140.54 \pm 4.90	140.09 \pm 4.81	.04	-.25	1.1	.23
Grupo 3	160.31 \pm 10.20	159.70 \pm 10.22	.06	-.14	1.4	.29
Total	137.84 \pm 21.22	137.43 \pm 21.05	.41	-.30	1.1	.22

Nota. DE: Desviación estándar; Bias: Media de diferencias entre unidades; 95% LOA: Límites de acuerdo al 95% (valores B: Bajo y A: Alto); CV: Coeficiente de variación.

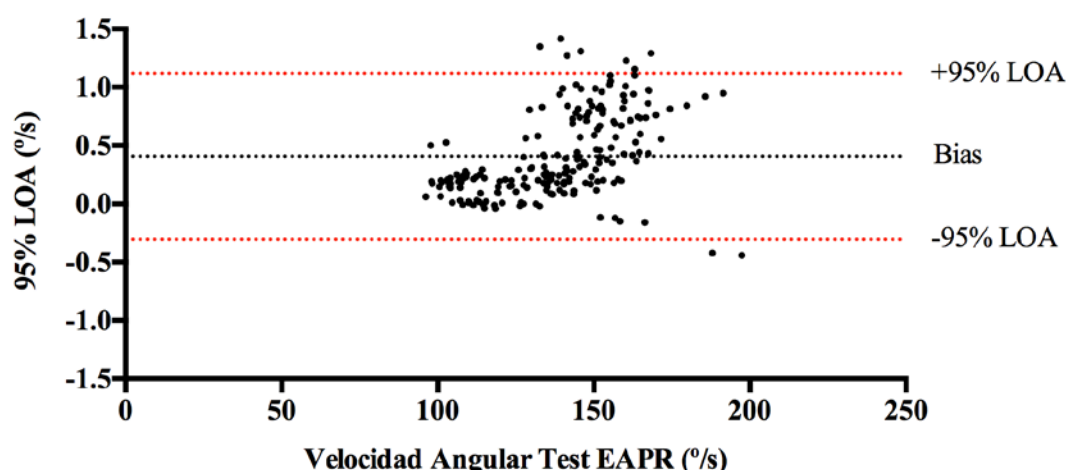


Figura 4. Gráfico de Bland-Altman para el análisis de fiabilidad inter-dispositivos en la medición de la velocidad angular durante el test EAPR.

Discusión

La presente investigación tuvo como objetivos la evaluación de la fiabilidad y validez de un dispositivo inercial para medir la velocidad angular durante el test EAPR, además de describir las exigencias del test en una población de futbolistas. Los resultados obtenidos muestran una excelente validez y fiabilidad del dispositivo WIMU PRO™, además de una amplia variabilidad en la velocidad de ejecución del test EAPR en futbolistas de categorías juvenil y senior (137.64 ± 21.13 °/s). La validez del total de las repeticiones fue perfecta ($r = 1.00$), encontrando también unos resultados muy buenos en el análisis de la fiabilidad inter-dispositivo ($CV = 0.22\%$; $Bias = 0.41$ °/s; $95\% LOA = 0.30 - 1.10$ °/s). Es importante resaltar que no se ha encontrado ningún artículo en la literatura revisada en el que se utilice el video análisis como criterio estándar para examinar la validez y fiabilidad de un instrumento en lo referente al test EAPR, pero si para valorar angulaciones obteniendo excelentes resultados en validez en la evaluación de la rodilla ($r = 0.94-0.98$) (Kiran, Carlson, Medrano, y Smith, 2010) o en fiabilidad en la zona lumbar ($ICC > 0.98$) (Tojima, Ogata, Yozu, Sumitani, y Haga, 2013).

En relación a la evaluación del ROM, una reciente investigación a evaluado la fiabilidad y validez del dispositivo inercial utilizado en el presente estudio (WIMU PRO™), utilizando un inclinómetro como criterio estándar, durante el test de elevación pasiva de la pierna recta (EPPR). En esta investigación se encontró una validez y fiabilidad excelente entre ambos instrumentos ($r^2 = 0.999$; $CV = 0.01\%$) (Muyor, 2017). Además, también ha sido evaluada la precisión de este instrumento para la medición de la velocidad media de las ejecuciones en situaciones controladas de laboratorio obteniendo unos excelentes resultados utilizando como criterio el transductor lineal T-Force ($p = 0.08 - 0.85$; $r = 0.936$) (Muyor, Granero-Gil, y Pino-Ortega, 2017), y aplicado para el análisis de la estabilidad del tronco en ejercicios isométricos (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, Reche, Granero-Gil, y Pino-Ortega, 2018).

La problemática actual reside en que la instrumentación utilizada para el registro de la velocidad de ejecución en el entrenamiento requiere de condiciones controladas donde se realice un movimiento totalmente vertical y lineal. Una leve desviación hacia el plano horizontal durante el registro mediante estos dispositivos, puede conducir a una sobrestimación de los datos (Cormie, Deane, & McBride, 2007; Cormie, McBride, & McCaulley, 2007; Crewther et al., 2011; Hori, Newton, Andrews, Kawamori, & others, 2007). Este aspecto ha ocasionado que los investigadores en ciencias del deporte hayan optado por máquinas guiadas, como la *Smith Machine*, para asegurar una verticalidad plena en el movimiento (García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Haff, 2017; Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez, & Pallarés, 2013).

Sin embargo, el ámbito deportivo se caracteriza por un amplio abanico de patrones de movimiento que deben ser reproducidos durante el entrenamiento para una mejora del rendimiento competitivo (Izquierdo, 2008). Este aspecto provoca el diseño de la ejecución de ejercicios durante el entrenamiento que no solo se realizan en un eje (eje vertical), sino también en el transversal y anteroposterior. Con la finalidad de ampliar esta gama de ejercicios y movimientos evaluables de manera válida y fiable, se requiere el análisis de instrumentación como la empleada en el presente estudio. Por lo tanto, gracias al avance tecnológico, se han desarrollado diferentes aplicaciones para móviles para la evaluación del rango de movimiento proporcionando mayor portabilidad y accesibilidad (Mehta et al., 2017; Vohralik, Bowen, Burns, Hiller, y Nightingale, 2015). Además, diferentes dispositivos inerciales también han mostrado tener una excelente validez y fiabilidad para evaluar el ROM, tanto estático como dinámico, en articulaciones como el codo (Ruiz-Olaya, Callejas-Cuervo, y Lara-Herrera, 2017) o el complejo espinal (Ha, Saber-Sheikh, Moore, y Jones, 2013). Sin embargo, estas aplicaciones y dispositivos inerciales únicamente proporcionan información referente a angulaciones siendo útiles para evaluar aspectos como el rango de movimiento (ROM), pero aún sin dar respuesta al registro de la velocidad angular. Como se puede apreciar, la ausencia de investigaciones que hayan examinado la velocidad angular de la musculatura agonista y antagonista de la cadera, reafirma el presente estudio como pionero en esta temática. La utilización de estos dispositivos inerciales para la medición de parámetros corporales proporcionará al investigador una amplia información para elaborar protocolos que fortalezcan y equilibren la musculatura objeto de estudio.

Limitaciones

Diferentes limitaciones deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados obtenidos en esta investigación. En primer lugar, el número de participantes es reducido ($n = 20$), lo cual puede influir en el poder estadístico de los resultados analizados. En segundo lugar, los participantes analizados eran jugadores varones de fútbol de nivel nacional, por lo que los resultados podrían no extrapolarse a otras poblaciones de estudio. Finalmente, únicamente dos dispositivos inerciales a una frecuencia de muestreo específica fueron utilizados en la recogida de datos. Tanto los componentes del dispositivo inercial, la calibración de los sensores y la frecuencia de muestreo pueden afectar a los resultados obtenidos. Por lo tanto, el registro de los datos mediante los dispositivos inerciales fue realizado siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Conclusiones y aplicaciones prácticas

Además de medir el rango de movimiento en el test activo de elevación de la pierna recta, el dispositivo inercial (WIMU PRO™) ha resultado válido y fiable para evaluar la intensidad de la ejecución a través de la medición de la velocidad angular en movimientos en los que exista un eje de giro.

A nivel práctico, el uso de este dispositivo proporciona una gran cantidad de aplicaciones dentro de la evaluación de la fuerza del deportista, sumándose la analizada en esta investigación a otras previamente evaluadas en la literatura como el registro del rango de movimiento, la medición de la velocidad lineal en ejecuciones en máquina guiada o la evaluación de la estabilidad del tronco durante la realización de ejercicios isométricos.

Referencias

- Arai, T., Obuchi, S., y Shiba, Y. (2017). A novel clinical evaluation method using maximum angular velocity during knee extension to assess lower extremity muscle function of older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 73, 143-147. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2017.07.015>
- Arai, T., Obuchi, S., Shiba, Y., Omuro, K., Nakano, C., y Higashi, T. (2008). The Feasibility of Measuring Joint Angular Velocity With a Gyro-Sensor. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(1), 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.07.051>
- Askling, C. M., Nilsson, J., y Thorstensson, A. (2010). A new hamstring test to complement the common clinical examination before return to sport after injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(12), 1798-1803. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1265-3>
- Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C. D., Reche, P., Granero-Gil, P., y Pino-Ortega, J. (2018). Valoración de la estabilidad del tronco mediante un dispositivo inercial. *Retos: Nuevas tendencias en Educación Física, Deportes y Recreación*, 33, 199-203.
- Boyd, B. S., y Villa, P. S. (2012). Normal inter-limb differences during the straight leg raise neurodynamic test: a cross sectional study. *BMC musculoskeletal disorders*, 13(1), 245.
- Choi, S.-A., Cynn, H.-S., Yoon, T.-L., Choi, W.-J., y Lee, J.-H. (2014). Effects of Ankle Dorsiflexion on Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis Muscle Activity During Straight Leg Raise Exercise with Hip External Rotation in Patellofemoral Pain Syndrome. *Journal of Musculoskeletal Pain*, 22(3), 260-267. <https://doi.org/10.3109/10582452.2014.907857>
- Cormie, P., Deane, R., y McBride, J. M. (2007). Methodological Concerns for Determining Power Output in the Jump Squat. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 424. <https://doi.org/10.1519/R-19605.1>
- Cormie, P., McBride, J. M., y McCaulley, G. O. (2007). Validation of Power Measurement Techniques in Dynamic Lower Body Resistance Exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 103-118. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.103>
- Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Cook, C., Owen, N., y Yang, G.-Z. (2011). Validating Two Systems for Estimating Force and Power. *International Journal of Sports Medicine*, 32(04), 254-258. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1270487>
- Deane, R. S., Chow, J. W., Tillman, M. D., y Fournier, K. A. (2005). Effects of Hip Flexor Training on Sprint, Shuttle Run, and Vertical Jump Performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 615. <https://doi.org/10.1519/14974.1>
- Fong, D. T.-P., y Chan, Y.-Y. (2010). The Use of Wearable Inertial Motion Sensors in Human Lower Limb Biomechanics Studies: A Systematic Review. *Sensors*, 10(12), 11556-11565. <https://doi.org/10.3390/s101211556>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., y Haff, G. G. (2017). Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>

- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., y Haff, G. G. (2018). Differences in the Load-Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 326-331. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0158>
- Ha, T.-H., Saber-Sheikh, K., Moore, A. P., y Jones, M. P. (2013). Measurement of lumbar spine range of movement and coupled motion using inertial sensors – A protocol validity study. *Manual Therapy*, 18(1), 87-91. <https://doi.org/10.1016/j.math.2012.04.003>
- Hall, T., Cacho, A., McNee, C., Riches, J., y Walsh, J. (2001). Effects of the Mulligan traction straight leg raise technique on range of movement. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 9(3), 128–133.
- Hanney, R. N., Ridehalgh, C., Dawson, A., Lewis, D., y Kenny, D. (2016). The effects of neurodynamic straight leg raise treatment duration on range of hip flexion and protective muscle activity at P1. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 24(1), 14-20. <https://doi.org/10.1179/2042618613Y.0000000049>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., y Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3-13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., y others. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 314.
- Hu, H., Meijer, O. G., Hodges, P. W., Bruijn, S. M., Strijers, R. L., Nanayakkara, P. W. B., ... van Dieën, J. H. (2012). Understanding the Active Straight Leg Raise (ASLR): an electromyographic study in healthy subjects. *Manual Therapy*, 17(6), 531-537. <https://doi.org/10.1016/j.math.2012.05.010>
- Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
- Jin, F., Nagasaki, T., y Wada, C. (2017). An estimation of knee and ankle joint angles during extension phase of standing up motion performed using an inertial sensor. *Journal of physical therapy science*, 29(7), 1171–1175.
- Kiran, D., Carlson, M., Medrano, D., y Smith, D. R. (2010). Correlation of three different knee joint position sense measures. *Physical Therapy in Sport*, 11(3), 81-85. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.06.002>
- Luque Suárez, A., Fuente Hervías, M. T., Barón López, F. J., y Labajos Manzanares, M. T. (2010). Relación entre el test de elevación de pierna recta y el test ángulo poplíteo en la medición de la extensibilidad isquiosural. *Fisioterapia*, 32(6), 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2010.07.004>
- Mehta, S., Barker, K., Bowman, B., Galloway, H., Oliashirazi, N., y Oliashirazi, A. (2017). Reliability, Concurrent Validity, and Minimal Detectable Change for iPhone Goniometer App in Assessing Knee Range of Motion. *The Journal of Knee Surgery*, 30(06), 577-584. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1593877>
- Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., Sánchez-Medina, L., Mora-Rodríguez, R., González-Badillo, J. J., y Pallarés, J. G. (2017). Movement velocity as a measure of level of effort during resistance exercise: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002017>
- Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L., y Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load, Force and Power-Velocity Relationships in the Prone Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-22. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0657>
- 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. <https://doi.org/10.1055/s-0043-108998>
- Muyor, J. M., Granero-Gil, P., y Pino-Ortega, J. (2017). Reliability and validity of a new accelerometer (Wimu®) system for measuring velocity during resistance exercises. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 175433711773170. <https://doi.org/10.1177/1754337117731700>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., ... González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains

- and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724-735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Ruiz-Olaya, A. F., Callejas-Cuervo, M., y Lara-Herrera, C. N. (2017). Wearable low-cost inertial sensor-based electrogoniometer for measuring joint range of motion. *DYNA*, 84(201), 180. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.59054>
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J., Pérez, C., y Pallarés, J. (2013). Velocity- and Power-Load Relationships of the Bench Pull vs. Bench Press Exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(03), 209-216. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1351252>
- Sánchez-Medina, Luis, Pallarés, J., Pérez, C., Morán-Navarro, R., y González-Badillo, J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open*, 01(02), E80-E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>
- Sierra-Silvestre, E., Torres Lacomba, M., y de la Villa Polo, P. (2017). Effect of leg dominance, gender and age on sensory responses to structural differentiation of straight leg raise test in asymptomatic subjects: a cross-sectional study. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 25(2), 91-97. <https://doi.org/10.1080/10669817.2016.1200216>
- Stearns, K. M., Keim, R. G., y Powers, C. M. (2013). Influence of Relative Hip and Knee Extensor Muscle Strength on Landing Biomechanics: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(5), 935-941. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827c0b94>
- Stearns, K. M., y Powers, C. M. (2014). Improvements in Hip Muscle Performance Result in Increased Use of the Hip Extensors and Abductors During a Landing Task. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(3), 602-609. <https://doi.org/10.1177/0363546513518410>
- Sun, T., Li, H., Liu, Q., Duan, L., Li, M., Wang, C., ... Wang, Y. (2017). Inertial Sensor-Based Motion Analysis of Lower Limbs for Rehabilitation Treatments. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/1949170>
- Tojima, M., Ogata, N., Yozu, A., Sumitani, M., y Haga, N. (2013). Novel 3-Dimensional Motion Analysis Method for Measuring the Lumbar Spine Range of Motion: Repeatability and Reliability Compared With an Electrogoniometer. *Spine*, 38(21), E1327-E1333. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182a0dbc5>
- Vincent, W. J., y Weir, J. P. (2012). *Statistics in Kinesiology* (4th ed.). Washington D.C.: Human Kinetics.
- Vohralik, S. L., Bowen, A. R., Burns, J., Hiller, C. E., y Nightingale, E. J. (2015). Reliability and Validity of a Smartphone App to Measure Joint Range: *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(4), 325-330. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000221>
- Wu, F., Zhang, K., Zhu, M., Mackintosh, C., Rice, T., Gore, C., ... Holthous, S. (2007). An Investigation of an Integrated Low-cost GPS, INS and Magnetometer System for Sport Applications (pp. 113-120). Presentado en Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2007), Fort Worth, TX.
- Ylinen, J. J., Kautiainen, H. J., y Häkkinen, A. H. (2010). Comparison of active, manual, and instrumental straight leg raise in measuring hamstring extensibility. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 972-977.

Referencia del artículo:



Pino-Ortega, J., Hernández-Belmonte, A., Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D. (2018). Evaluación de la velocidad angular en el test de elevación activa de la pierna recta: validez y fiabilidad de un dispositivo inercial (WIMU PRO™). *E-balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte* 14(2), 79-88. <http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/index>