

Comparación de dos métodos de detección para el registro de la frecuencia cardíaca: banda torácica vs camiseta técnica

Comparative of two detection methods for heart rate telemetry: chest band vs technical shirt

*Jose Pino-Ortega, *Alejandro Bastida-Castillo, **Jose Maria-Oliva Lozano, ***Daniel Rojas-Valverde, *Pedro Reche-Soto, ****Carlos David Gómez-Carmona

*Universidad de Murcia (España), **Universidad de Almería (España), ***Universidad Nacional (Costa Rica), ****Universidad de Extremadura (España)

Resumen. Justificación. Los avances tecnológicos han contribuido al desarrollo de nuevo instrumental para la detección de variables de carga interna y externa durante los entrenamientos y la competición en el deporte. La frecuencia cardíaca (FC) es uno de los indicadores más estudiados y utilizados para el control de la carga interna. Actualmente, para una mayor comodidad del atleta, los monitores cardiacos se han integrado en la indumentaria deportiva. Por tanto, es importante conocer la validez y precisión de dichas herramientas y mediciones ya que se utilizan comúnmente en situaciones reales del juego. **Objetivo.** Comparar dos métodos de detección para la medición de la FC a través del monitor cardíaco integrado en una camiseta técnica (Kalenji®, Kiprum Cardio) en relación a una herramienta previamente validada (GARMIN®- WIMU PRO™). **Método.** 16 futbolistas sub-19 (edad: 17.2 ± 0.87 años; altura: 1.77 ± 0.05 cm; peso: 73.96 ± 4.2 kg; IMC: 21.5 ± 1.1 kg/m²) de nivel nacional español participaron voluntariamente. Se realizó una simulación de juego real mediante un espacio reducido 8vs8 (67.5 x 38.2 metros, 184.18 m² por jugador excluyendo porteros). El análisis estadístico se compuso de las pruebas estadísticas coeficiente de correlación de Pearson, coeficiente de correlación intraclase (ICC) y test de Bland-Altman. **Resultados.** Existe una correlación casi perfecta ($ICC=1.00$; $r=0.99$) entre ambos métodos de monitorización de la frecuencia cardíaca. Existen diferencias bajas entre las mediciones de ambos dispositivos ($Bias=0.01 \pm 1.09$; $CV=1.59\%$) independientemente de la intensidad de la actividad. **Conclusiones.** Los electrodos integrados en la camiseta técnica es un método válido para la monitorización de la frecuencia cardíaca en fútbol a diferentes intensidades.

Palabras clave: rendimiento deportivo, frecuencia cardíaca, tecnología deportiva, monitorización de la carga, análisis de validez.

Abstract. Purpose. The technological advances have contributed for developing new devices to measure external and internal load variables during training and competition in sports. The heart rate (HR) is one of the most studied and utilized variables for internal load control. Currently, for athletes' better comfortable, the heart rate monitors have been integrated on sport clothes. Therefore, it is important to know the validity and accuracy of their measurements so that they are used in real game situations. **Objective.** To compare two detection methods of HR through a technical shirt (Kalenji®, Kiprum Cardio) in relation to a previous valid method (GARMIN®- WIMU PRO™). **Methods.** 16 U'19 national-level footballers (age: 17.2 ± 0.87 years; height: 1.77 ± 0.05 m; weight: 73.96 ± 4.2 kg; BMI: 21.5 ± 1.1 kg/m²) participated voluntarily in this study. An 8vs8 small-sided game has been performed (67.5 x 38.2 meters, 184.18 m² per player, excluding goalkeepers). Statistical analysis was composed by Pearson correlation coefficient, intraclass correlation coefficient (ICC) and Bland-Altman test. **Results.** A nearly perfect correlation was found between the HR telemetry methods ($ICC=1.00$; $r=0.99$). Very low differences were found between the two contact methods ($Bias=0.01 \pm 1.09$; $CV=1.59\%$), independently of activity intensities. **Conclusions.** The electrodes incorporated on the technical shirts is a valid method to heart rate telemetry in soccer at different intensities. **Keywords:** sports performance, heart rate, sports technology, load monitoring, validity analysis.

Introducción

En la actualidad, tanto los científicos del deporte como de ciencias del movimiento humano se han interesado en proponer nuevas metodologías prácticas y sencillas para la simplificación de la medición (Díaz, Reche, Torres, & Rodríguez, 2019) y ejecución de deportes de conjunto (Bastida-Castillo, Gomez-Carmona, Reche, Granero-Gil, & Pino-Ortega, 2018; Gutiérrez-Vargas, Gutiérrez-Vargas, Fallas-Campos, & Rojas-Valverde, 2018; Haro, Ortega, Cerezo, & Contreras, 2015).

El desarrollo constante de la tecnología hace posible la recolección masiva de datos fisiológicos y cinemáticos en relación a la competición y el entrenamiento del deporte en general (Boyd, 2011; Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010; Reche-Soto, Cardona-Nieto, Diaz-Suarez, Gomez-Carmona, & Pino-Ortega, 2019a) y en el fútbol en particular (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, De la Cruz Sánchez, & Pino-Ortega, 2018; Buchheit, Lacome, Cholley, & Simpson, 2018;

Reche-Soto, Cardona-Nieto, Diaz-Suarez, Gomez-Carmona, & Pino-Ortega, 2019b). Desde un enfoque pragmático, esta tecnología de medición está permitiendo que los datos sean registrados mediante métodos cada vez más válidos (Achten & Jeukendrup, 2003; Grossman, Wilhelm, & Brutsche, 2010; Jobson, Nevill, & Atkinson, 2009). Así, surgió la estimación de las demandas cinemáticas a través de dispositivos inerciales inalámbricos para el análisis de movimiento (denominados IMU, *inertial measurement unit*) de pequeñas dimensiones que incorporan diferentes sensores (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, chip GPS, entre otros). Además cuentan con diferentes medios de comunicación (Bluetooth, ANT+, WiFi, etc.) que les permite sincronizarse con otros complementos, como monitores de frecuencia cardíaca (Molina-Carmona, Gomez-Carmona, Bastida Castillo, & Pino-Ortega, 2018), tecnología infrarroja de mediciones cercanas (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, & Pino Ortega, 2016; Gómez-Carmona, Bastida-Castillo, González-Custodio, Olcina, & Pino-Ortega, 2019) e incluso fotocélulas para la medición del tiempo (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, Pino Ortega, & de la Cruz, 2017).

Uno de los parámetros más utilizados a nivel mundial para la cuantificación de la carga interna es la frecuencia cardíaca, considerada como un indicador de intensidad de la

actividad y cuantificada en número de latidos de corazón por minuto. Para su registro se han propuesto diferentes métodos, entre ellos el electrocardiograma, cintas de frecuencia cardiaca, monitores infrarrojos de muñeca (monitores de actividad y relojes inteligentes) y dedo; estos métodos han demostrado ser válidos para la frecuencia cardiaca y accesibles a la población en general en costo y portabilidad (El-Amrawy & Nounou, 2015; Wang et al., 2017).

La búsqueda de un instrumento o monitor menos invasivo dio lugar al desarrollo de camisetas que incorporan sus propios electrodos para el registro de la frecuencia cardiaca, y así suprimir la utilización de bandas adicionales a la indumentaria deportiva regular. Cualquier nueva tecnología que registre datos en tiempo real o de campo debe ser rigurosamente evaluada a través de metodologías controladas, con el fin de conocer la precisión de la medición (Thomas, Silverman, & Nelson, 2014; Welk, 2005). Así la comparación de una nueva técnica de medición (camiseta técnica) con una establecida (monitor ya validado) es necesaria para ver la posibilidad de que la nueva reemplace a la antigua (Bland & Altman, 2010). Las investigaciones a tal fin a menudo analizan esta «validez» de forma inadecuada, en particular mediante el uso de coeficientes de correlación, lo que puede ser engañoso. Es más correcto el enfoque alternativo basado en técnicas gráficas y cálculos simples desarrollado por Bland & Altman (2010). Por todo ello, el objetivo del presente estudio fue comparar dos métodos de detección para el registro de la FC en una camiseta técnica con banda cardiaca integrada y cinta de frecuencia cardiaca validada previamente.

Método

Participantes

16 futbolistas sub-19 de nivel nacional español participaron voluntariamente en esta investigación (edad 17.2 ± 0.87 años; altura 1.77 ± 0.05 cm; peso 73.96 ± 4.2 kg; IMC 21.5 ± 1.1 kg/m²). Todos los futbolistas participaban en el mismo equipo de fútbol, el cual competía en el campeonato de liga de División de Honor Juvenil (Grupo VII), regulado por la Real Federación Española de Fútbol (RFEF). Los criterios de inclusión fueron: (i) experiencia previa de al menos dos años de práctica deportiva del fútbol, (ii) realizar entrenamientos específicos al menos 3 veces por semana con una duración aproximada de 90 minutos por sesión y (iii) excluir a los porteros debido a que sus exigencias difieren de los jugadores de campo. Finalmente, 14 jugadores fueron evaluados.

Se informó a todos los participantes de los objetivos del estudio, protocolo y evaluaciones. Todos los sujetos firmaron consentimiento informado para participar en el estudio, así como se obtuvo el permiso del club antes de la realización del estudio. En el caso de los futbolistas menores de edad, se obtuvo el debido consentimiento a través de sus tutores legales. El estudio se desarrolló en base a las disposiciones éticas de la Declaración de Helsinki (2013), siendo aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Murcia (Nº registro 2061/2018).

Material

En la presente investigación se utilizaron los instrumentos que se describen a continuación y donde el protocolo de

adquisición y almacenamiento de la información se expone en la **figura 1**.

Caracterización antropométrica: La altura de los sujetos fue medida con un tallímetro de pared (SECA, Hamburgo, Alemania). El peso corporal de los sujetos se obtuvo mediante un monitor de composición corporal (BC-601, TANITA, Tokio, Japón).

Monitor de Frecuencia Cardiaca GARMIN® HRM Premium (Garmin Ltd., Olathe, Kansas, Estados Unidos): El registro fue realizado colocando una banda de FC colocada alrededor del tórax a la altura de la apófisis xifoides. Para la emisión de datos se utilizó una pastilla GARMIN® (código 010-10997-07) la cual fue conectada a las terminales de los electrodos de la banda.

Camiseta técnica (Kalenji® Kiprum Cardio): Esta camiseta técnica lleva incorporada un monitor de FC a la cual se puede conectar cualquier pastilla para la detección y envío de los datos ya que posee un conector universal. Para este fin se utilizó una pastilla GARMIN® (código 010-10997-07) como emisor de los datos.

Dispositivo inercial WIMU PRO™ (RealTrack Systems, Almería España): Este dispositivo inercial integra diferentes sensores tales como cuatro acelerómetros, dos giróscopos, un magnetómetro, un chip GPS, y un chip UWB. En la presente investigación, fue utilizado como concentrador de señales para el registro de la información. El sistema recibía la información de las pastillas GARMIN® a través de la tecnología Ant+ con una frecuencia de muestreo de 4 Hz, siendo la recepción de la señal de ambos dispositivos sincronizada en el tiempo. Este protocolo de registro de la FC ha sido validado previamente obteniendo unos excelentes resultados (Molina-Carmona et al., 2018).

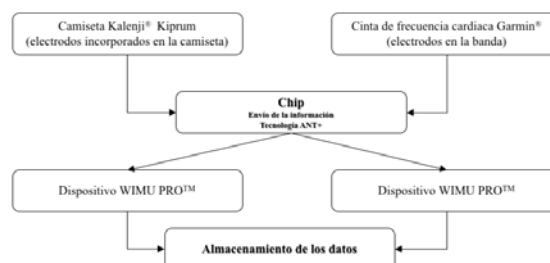


Figura 1. Procedimiento de adquisición de la información mediante los instrumentos utilizados en la presente investigación.

Procedimiento

El procedimiento utilizado fue realizar una simulación con una duración total de 20 minutos de un partido de fútbol-8 (8 vs 8) en un terreno de juego con unas dimensiones de 67.5 x 38.2 metros (2578.5 m²), siendo el área teórica ocupada por jugador excluyendo a los porteros de 184.17 m². La organización por puestos durante el espacio reducido fue autónoma y cambiante durante el juego.

Previamente al inicio del estudio, las medidas antropométricas fueron registradas a todos los participantes. Tras las mediciones, se colocaron ambos monitores de FC y realizaron un calentamiento previo a la actividad, el cual realizaban de forma habitual con una duración aproximada de 15 minutos. La colocación de los dispositivos siguió el siguiente procedimiento: (1) Colocar la cinta de FC GARMIN® HRM Premium alrededor del tórax a la altura de la apófisis

xifoides y la debida anexión de la pastilla, (2) Poner la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio y anexión de la pastilla, y (3) Colocar el dispositivo inercial en la línea inter-escapular mediante un peto de neopreno. La distancia entre los dispositivos fue de 2 cm. Para poder sincronizar los datos en el tiempo, ambos dispositivos (GARMIN® y Kalenji® Kiprum Cardio) enviaron los datos simultáneamente, pero codificados a un dispositivo inercial WIMU PRO™. La recogida de datos se realizó en la misma superficie sintética, con una climatología estable y una temperatura de 24°C sin que ningún agente externo pudiera repercutir en los valores reales obtenidos en las distintas pruebas. Los datos registrados por WIMU PRO™ de la recepción de la señal de ambos dispositivos se guardaron en una memoria interna de 8GB que incorpora cada dispositivo y fueron analizados por el software denominado S PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España).

Análisis de Datos

Los datos obtenidos a través de la banda de FC GARMIN® y la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio que fueron registrados por el dispositivo inercial WIMU PRO™ se presentaron como media ± desviación estándar. Para clasificar los datos analizados para su posterior análisis, se crearon 3 grupos mediante su distribución en percentiles en función de la frecuencia cardíaca alcanzada a lo largo del registro (Grupo 1: 83-140 ppm; Grupo 2: 140-186 ppm; Grupo 3: 186-213 ppm), para identificar diferencias de precisión en función de la intensidad de la actividad. Para el análisis de validez de la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio con respecto a la medida criterio (banda de FC GARMIN®) 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 ($r^2 = 1$). Además, se añadió la prueba estadística Bland-Altman 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. El análisis estadístico y los gráficos se realizaron mediante el software GraphPad Prism (versión 7; Graphpad Software, La Jolla, EEUU).

Resultados

En la tabla 1 se representa el análisis descriptivo y el análisis de la dinámica de la FC entre la banda de FC

Tabla 1. Análisis de la dinámica del registro de la frecuencia cardíaca (pulsaciones/minuto) de la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio en relación al criterio de referencia (banda GARMIN®) a través de los estadísticos ICC con 95% intervalo de confianza y *r* de Pearson.

Intensidad	GARMIN® (Media ± DE)	Kalenji® Kiprum (Media ± DE)	ICC	CI 95%		<i>r</i>
				B	A	
Grupo 1	114.77 ± 15.36	114.90 ± 15.36	0.99	0.98	0.99	0.98
Grupo 2	165.71 ± 13.83	165.50 ± 13.52	0.99	0.99	0.99	0.99
Grupo 3	196.15 ± 5.74	196.14 ± 5.71	1.00	0.99	1.00	1.00
Total	158.72 ± 35.71	158.78 ± 35.66	1.00	0.99	1.00	0.99

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

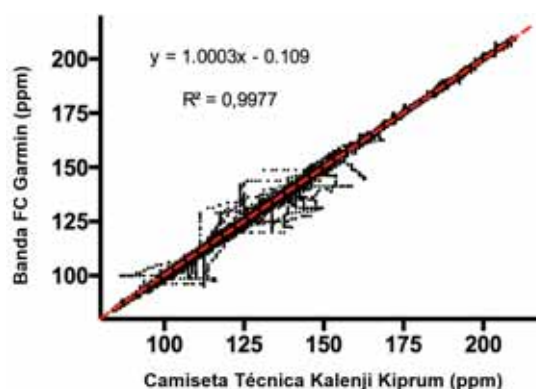


Figura 2. Gráfico de dispersión para el análisis de la dinámica del registro de la FC de la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio en relación a la banda GARMIN® como medida criterio.

GARMIN® y la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio durante la actividad (ver figura 2 para más detalle).

Se encuentra una media de FC alcanzada de 158.78 ± 35.66 ppm, obteniendo un valor máximo de 210.40 ppm, y un valor mínimo de 83.75 ppm registrado al inicio de la actividad. El análisis realizado reporta una correlación perfecta entre la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio y la medida criterio (ICC=1.00; *r*=0.99).

En la tabla 2 se muestran las diferencias del registro entre banda de FC GARMIN® y la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio durante la actividad. Las menores diferencias se encuentran en el grupo 3 (Bias=-.001 ± 0.57; CV=1.46%). De forma global, se ha encontrado unas diferencias muy bajas inter-dispositivos (Bias=0.01 ± 1.09; CV=1.59%) (ver figura 3 para más detalle).

Tabla 2.

Bland-Altman para el análisis de las diferencias inter-dispositivos para la medición de la frecuencia cardíaca (pulsaciones/minuto). Media de diferencias, límites de acuerdo al 95% y coeficiente de variación.

Intensidad	GARMIN® (Media ± DE)	Kalenji® Kiprum (Media ± DE)	Bias ± SD (ppm)	95% LOA (ppm)		CV (%)
				B	A	
Grupo 1	114.77 ± 15.36	114.90 ± 15.36	0.04 ± 1.50	-2.90	2.98	3.13
Grupo 2	165.71 ± 13.83	165.50 ± 13.52	0.01 ± 0.98	-1.92	1.95	1.40
Grupo 3	196.15 ± 5.74	196.14 ± 5.71	0.01 ± 0.57	-1.12	1.11	1.46
Total	158.72 ± 35.71	158.78 ± 35.66	0.01 ± 1.09	-2.11	2.14	1.59

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.

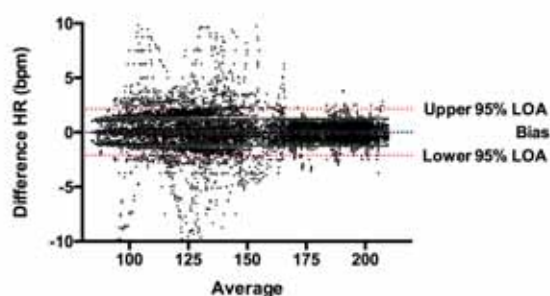


Figura 3 Gráfico de Bland-Altman para el análisis de las diferencias inter-dispositivos en la medición de la frecuencia cardíaca durante la actividad.

Discusión

El objetivo del estudio fue comparar dos métodos de detección para el registro de la FC en una camiseta técnica con monitor integrado y una banda cardíaca validada previamente. Los resultados mostraron que la camiseta Kalenji® Kiprum Cardio proporcionaba datos muy similares a los de la banda de FC GARMIN® (criterio de referencia) y por tanto son comparables entre sí.

En previas investigaciones se ha comprobado que el principal método para establecer la validez es a través del coeficiente de correlación, pero también son aceptados otros métodos como Bland-Altman para obtener información más relevante sobre la concordancia entre dos medidas (Bland & Altman, 2010). En cuanto al estudio de la validez de la camiseta Kalenji® Kiprum Cardio, se analizó la dinámica de la FC (ppm/min) en tres grupos con una correlación perfecta para el grupo 3 ($r^2 = 1$) y casi perfecta para el grupo 1 y 2 ($r^2 = 0.99$). Estos resultados se encuentran en relación a los obtenidos en un estudio que comparaba distintos monitores de FC con electrocardiógrafo (ECG), en el que tanto los monitores Polar Vantage XL como Cateye-PL-6000 registraron una alta correlación ($r^2 > 0.8$) en los cuatro niveles de intensidad (Terbizan, Dolezal, & Albano, 2002). Así mismo ocurre con otras investigaciones que compararon un monitor POLAR RS400 con ECG en un cicloergómetro obteniendo coeficientes de correlación entre 0.97 y 1, siendo esta mayor a más intensidad tal y como mostraron los resultados obtenidos en la presente investigación (Engström, Ottosson, Wohlfart, Grundström, & Wisén, 2012). Además, el ICC obtenido fue alto (superior a 0.99 en todos los casos). Adicionalmente, este estudio mostró mayores valores de precisión con coeficientes de variación inferiores a los recogidos en otros estudios realizados con pulsómetros de muñeca (Apple Watch: CV = 5.9%; Samsung Gear S: CV = 20.6%) comparados con Onyx Vantage 9590 (El-Amrawy & Nounou, 2015).

En consecuencia, la camiseta Kalenji® Kiprum Cardio puede considerarse como útil y, además, resultaría ser más cómoda puesto que evita que los individuos estén obligados a colocarse la banda, que genera cierta incomodidad para su uso regular (Poh, McDuff, & Picard, 2011). No obstante, consideramos que el futuro de esta tecnología pase por disminuir el tamaño de los propios monitores de FC o lo que es más interesante, camisetas o petos inteligentes que lleven integrados diferentes sensores y electrodos que permitan no solo registrar la FC, sino también otros parámetros relacionados con la actividad física como el ritmo respiratorio, la tensión arterial, la temperatura corporal, la actividad respiratoria o la actividad electrodérmica, entre otros.

Sin embargo, cabe destacar que el estudio presenta algunas limitaciones: a) no se pudo llevar a cabo un análisis de fiabilidad debido a la imposibilidad de vestir dos camisetas durante la medición; b) el tamaño muestral podría ser más amplio; c) la frecuencia de muestreo y duración de la actividad podrían ser insuficientes y d) ambos dispositivos fueron colocados a 2 cm de distancia, sería necesario evaluar si existiese algún sesgo de medición debido a esta razón. De esta manera, se plantea la necesidad de llevar a cabo estudios que apliquen una metodología similar, pero aumentando la duración de la actividad (ej. 90 minutos reglamentarios en un partido de fútbol de competición oficial), en varios atletas participantes en distintas modalidades deportivas (especialmente en aquellos con mayor número de impactos y colisiones) y en distintos grupos de edad.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos, los electrodos integrados a la camiseta técnica Kalenji® Kiprum Cardio, regis-

tran de una manera válida la frecuencia cardiaca comparado con métodos previamente evaluados, siendo una posible herramienta cómoda y accesible para la medición de la frecuencia cardiaca y la dinámica del fútbol, independientemente de la intensidad.

Referencias

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517–538.
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., De la Cruz Sánchez, E., & Pino-Ortega, J. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time-motion analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 18(4), 450-457. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1427796>
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., & Pino Ortega, J. (2016). Efectos del Tipo de Recuperación Sobre la Oxigenación Muscular Durante el Ejercicio de Sentadilla. *Kronos*, 15(2), 1-13.
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., Pino Ortega, J., & de la Cruz, E. (2017). Validity of an inertial system to measure sprint time and sport task time: a proposal for the integration of photocells in an inertial system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(4), 600-608. <https://doi.org/10.1080/24748668.2017.1374633>
- Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C. D., Reche, P., Granelo-Gil, P., & 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.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2010). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *International Journal of Nursing Studies*, 47(8), 931–936.
- Boyd, L. J. (2011). *A new way of using accelerometers in Australian rules football: Assessing external loads* (Dissertation). Victoria University, Melbourne, Australia.
- Buchheit, M., Lacombe, M., Cholley, Y., & Simpson, B. M. (2018). Neuromuscular Responses to Conditioned Soccer Sessions Assessed via GPS-Embedded Accelerometers: Insights Into Tactical Periodization. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 577-583. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0045>
- Díaz, I. A., Reche, M. P. C., Torres, J. M. T., & Rodríguez, J. M. R. (2019). Impacto de las apps móviles en la actividad física: un meta-análisis (Impact of mobile apps on physical activity: A meta-analysis). *Retos*, 36(36), 52-57.
- El-Amrawy, F., & Nounou, M. I. (2015). Are Currently Available Wearable Devices for Activity Tracking and Heart Rate Monitoring Accurate, Precise, and Medically Beneficial? *Healthcare Informatics Research*, 21(4), 315-320. <https://doi.org/10.4258/hir.2015.21.4.315>
- Engström, E., Ottosson, E., Wohlfart, B., Grundström, N., & Wisén, A. (2012). Comparison of heart rate measured by Polar RS400 and ECG, validity and repeatability. *Advances in Physiotherapy*, 14(3), 115-122. <https://doi.org/10.3109/>

14038196.2012.694118

- 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*.
- Grossman, P., Wilhelm, F. H., & Brutsche, M. (2010). Accuracy of ventilatory measurement employing ambulatory inductive plethysmography during tasks of everyday life. *Biological Psychology*, 84(1), 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.02.008>
- Gutiérrez-Vargas, R., Gutiérrez-Vargas, J. C., Fallas-Campos, A., & Rojas-Valverde, D. (2018). Propuesta para la elaboración de porterías y líneas de campo portátiles para la promoción del balonmano a nivel comunitario. *Retos*, 35, 387-390.
- Haro, G. V., Ortega, J. P., Cerezo, C. R., & Contreras, M. I. M. (2015). Propuesta de valoración técnico-táctica mediante una situación de Juego colectivo básico en el fútbol de iniciación. *Retos*, 12, 29-35.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & 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>
- Jobson, S. A., Nevill, A., & Atkinson, G. (2009). Choose your primary outcome variables with care. *Journal of Sports Sciences*, 27(4), 313-314. <https://doi.org/10.1080/02640410902719197>
- Molina-Carmona, I., Gomez-Carmona, C. D., Bastida Castillo, A., & Pino-Ortega, J. (2018). Validez del dispositivo inercial WIMU PRO™ para el registro de la frecuencia cardíaca en un test de campo. *Sport-TK: Revista Euroamericana de Ciencias del Deporte*, 7, 81-86.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Minahan, C. L. (2010). The Physical and Physiological Demands of Basketball Training and Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 75-86. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.1.75>
- Poh, M.-Z., McDuff, D., & Picard, R. (2011). A medical mirror for non-contact health monitoring. *ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies on - SIGGRAPH '11*, 1-1. <https://doi.org/10.1145/2048259.2048261>
- Reche-Soto, P., Cardona-Nieto, D., Diaz-Suarez, A., Gomez-Carmona, C., & Pino-Ortega, J. (2019a). AceIT y PlayerLoad™: Dos variables para la cuantificación de la carga neuromuscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, Pendiente de publicación.
- Reche-Soto, P., Cardona-Nieto, D., Diaz-Suarez, A., Gomez-Carmona, C., & Pino-Ortega, J. (2019b). Demandas tácticas de juegos reducidos en fútbol: Influencia de la tecnología utilizada. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, Pendiente de publicación.
- Terbizan, D. J., Dolezal, B. A., & Albano, C. (2002). Validity of Seven Commercially Available Heart Rate Monitors. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 6(4), 243-247. https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0604_3
- Thomas, J., Silverman, S., & Nelson, J. (2014). Recuperado de <http://www.humankinetics.com/products/all-products/research-methods-in-physical-activity-7th-edition>
- Vincent, W. J., & Weir, J. P. (2012). *Statistics in Kinesiology* (4th ed.). Washington D.C.: Human Kinetics.
- Wang, R., Blackburn, G., Desai, M., Phelan, D., Gillinov, L., Houghtaling, P., & Gillinov, M. (2017). Accuracy of Wrist-Worn Heart Rate Monitors. *JAMA Cardiology*, 2(1), 104-106. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2016.3340>
- Welk, G. J. (2005). Principles of Design and Analyses for the Calibration of Accelerometry-Based Activity Monitors: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(Supplement), S501-S511. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000185660.38335.de>

