

VALIDEZ DEL ACELERÓMETRO DE UN TELÉFONO MÓVIL PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA EN SALTOS

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE



CURSO ACADÉMICO 2018-2019



NOEMÍ SEMPERE RUIZ
TUTOR ACADÉMICO: JOSÉ MANUEL SARABIA MARÍN
Universidad Miguel Hernández de Elche

ÍNDICE

| | |
|----------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 2. MÉTODO..... | 4 |
| 3. RESULTADOS | 6 |
| 4. DISCUSIÓN..... | 12 |
| 5. BIBLIOGRAFÍA..... | 13 |



RESUMEN

El control de la carga en el entrenamiento es fundamental para la planificación deportiva. En deportes de carácter aeróbico, extensivo y cíclico encontramos modelos de cuantificación que tienen en cuenta variables tanto de volumen como de intensidad, pero que no tienen buena relación con el tipo de trabajo realizado en deportes explosivos. Estas modalidades suelen incidir en dos cualidades principales: la fuerza y la velocidad. Concretamente en salto de longitud, los entrenamientos se basan en series de carrera y sesiones de fuerza, a las que se añade un alto componente en saltos. Mientras que para los dos primeros casos se consideran variables de volumen e intensidad a la hora de cuantificar la carga, en saltos únicamente se contemplan variables de volumen. Para conseguir una herramienta que tenga en cuenta otras variables como la intensidad, el objetivo de este trabajo es validar el acelerómetro de un teléfono móvil como herramienta de cuantificación de la carga en saltos. Se colocó un teléfono móvil con acelerómetro a una participante para realizar varias tareas de saltos verticales y horizontales sobre plataformas de fuerzas. La aceleración resultante del teléfono móvil y de las plataformas de fuerzas ha sido filtrada y se han extraído los picos para calcular la correlación existente entre ambas. En el total de los saltos analizados aparece una correlación alta y en el conjunto de los saltos verticales la correlación es muy alta, aunque en el conjunto de los saltos horizontales es trivial. Se sugiere que el uso del acelerómetro de un teléfono móvil como herramienta para el análisis de la intensidad de los saltos verticales es adecuado, pero no para los saltos horizontales.

Palabras clave: aceleración, pliometría, fuerzas de reacción, biomecánica, deporte

1. INTRODUCCIÓN

El control de la carga en el entrenamiento deportivo es un aspecto importante de la planificación que va a ayudar a optimizar el entrenamiento, determinar si el atleta se está adaptando a su programa de entrenamiento, entender las respuestas individuales y valorar la fatiga y la necesidad asociada de recuperación, así como minimizar el riesgo de sobreentrenamiento no funcional, enfermedad o lesión (Bourdon, 2017). Dentro del control de carga, podemos clasificar los modelos existentes en función del tipo de variable que utilizan. Por un lado, encontramos los que se basan en variables de carga interna, que valora el estrés biológico impuesto por la sesión de entrenamiento y se define como la perturbación de la homeostasis de procesos fisiológicos y metabólicos durante la sesión de ejercicio físico (Mujika, 2017). Por otro lado, están las que utilizan variables de carga externa, que hacen referencia al trabajo completado por el atleta independientemente de sus características internas (Thorpe, Atkinson, Drust y Gregson, 2017).

En cuanto a variables de carga interna, existen algunas objetivas como la frecuencia cardíaca (FC), el consumo de oxígeno (VO_2) y la concentración de lactato en sangre [Lac]; y otras subjetivas, donde encontramos, por ejemplo, el rango de esfuerzo percibido (RPE), el Perfil de los Estados de Ánimo (POMS) o el *Daily Analysis of Life Demands for Athletes* (DALDA) (Borresen, y Lambert, 2009).

En relación con la carga externa, las variables más utilizadas de volumen son tiempo y distancia, mientras que velocidad, aceleración y potencia nos indican intensidad (Halson, 2014).

Conociendo en qué consiste el control de la carga y las opciones de las que se dispone para llevarlo a cabo, su uso se ha de intentar ajustar de la mejor manera posible al deporte al que se aplique, pues en función de la actividad, los entrenamientos que se realicen y el tipo de competición, será más o menos apropiado el uso de unas u otras variables.

Así, mientras que en deportes de carácter aeróbico, extensivo y cíclico como, por ejemplo, el ciclismo o la carrera de larga distancia, los modelos basados en FC como los propuestos por Banister (Banister, MacDougall, Wenger et al., 1991; Borresen y Lambert, 2009), Lucia (Lucía, Hoyos, Carvajal y Chicharro, 1999) y Edwards (Edwards, 1993; Roos, Taube, Brandt, Heyer y Wyss, 2013) tienen una buena relación con las adaptaciones y los cambios en el rendimiento (Roos et al., 2013), no ocurre lo mismo en deportes explosivos, como por ejemplo el salto de longitud, donde la FC, la [Lac] y otras variables de carga interna no tienen relación con el tipo de trabajo realizado ya que no suelen incidir sobre el trabajo aeróbico. Concretamente, la planificación de una temporada típica en estos deportes tiene unas características determinadas, centrándose en dos cualidades principalmente: la fuerza y la velocidad. La fuerza evoluciona desde el trabajo de hipertrofia y fuerza máxima, hacia un enfoque más propio del periodo competitivo, donde se prioriza potencia y fuerza explosiva. De la misma manera, la velocidad progresa desde aspectos generales a más específicos de la competición, como son los esfuerzos puramente anaeróbicos. Además, al entrenamiento de estas cualidades habría que sumarle el entrenamiento técnico, que tiene un alto componente en saltos. Así, un entrenamiento típico suele incluir sesiones de fuerza con cargas altas y medias, pliometría, series de velocidad y ejercicios técnicos de salto.

Para la cuantificación de estas sesiones, Jiménez-Reyes y González-Badillo (2011) clasifican la carga de entrenamiento en carrera, saltos y cargas adicionales (entrenamiento de pesas). Para carrera, valoran los metros realizados y la intensidad a la que los recorren. En cuanto a la carga en entrenamientos de cargas adicionales, también consideran variables de volumen y de intensidad: número de repeticiones totales realizadas, peso medio, intensidad media relativa, el porcentaje que representa el peso medio de 1 repetición máxima (1RM). Sin embargo, para el control de la carga con relación a los saltos, únicamente tiene en cuenta el número de saltos realizados y el tipo de salto (vertical u horizontal, con o sin carrera previa, etc.).

Utilizar variables que contemplan volumen exclusivamente no nos ofrece una valoración objetiva de qué supone la carga de trabajo. Para obtener un valor real de carga externa es necesario encontrar una herramienta que tenga en cuenta otras variables como la intensidad.

En este sentido, otros deportes con un carácter mixto y donde las acciones explosivas son relevantes, como ocurre en deportes colectivos como fútbol (Dalen, Øverås, van den Tillaar, Welde y von Heimburg, 2018) o voleibol (Jarning, Mok, Hansen y Bahr, 2015), están comenzando a utilizar registros de aceleraciones medidas con GPS o acelerómetro con la intención de poder cuantificar el trabajo realizado por los jugadores. Concretamente, en otro deporte donde su entrenamiento tiene un alto componente de saltos, como es el caso de la gimnasia, ya se ha realizado un estudio previo que pretende usar acelerómetros triaxiales colocados en la espalda para valorar la carga de impacto durante saltos y recepciones (Simons y Bradshaw, 2016), encontrando correlaciones significativas entre los datos de acelerometría y de la plataforma de fuerzas (*gold standard*), resultados que sugieren que la acelerometría podría llegar a ser una medida simple para indicar la carga de impacto.

Los acelerómetros son sensores de fuerza que miden la aceleración de objetos en movimiento a lo largo de los ejes de referencia y han sido aceptados como sensores útiles y prácticos en la medida y evaluación de la actividad física tanto en el ámbito clínico o de laboratorio como en un entorno cotidiano (Yang y Hsu, 2010). Esta manera de monitorización permite una medida de la actividad automática, continua y de larga duración.

Gracias a los avances actuales en la tecnología de los smartphones, los acelerómetros integrados en ellos se han utilizado en el campo de la valoración funcional y del ejercicio físico para analizar diferentes cuestiones como la intensidad de ejercicios isométricos de estabilidad del tronco (Barbado, Irlés-Vidal, Prat-Luri, García-Vaquero y Vera-García, 2018) o el equilibrio en diferentes situaciones de inestabilidad (Shah, Aleong y So, 2016).

Por ello, el objetivo principal de este trabajo fue comprobar la validez del acelerómetro de un smartphone para analizar la carga que suponen diferentes ejercicios de salto tanto verticales como horizontales.

2. MÉTODO

Participantes

Una participante femenina (edad = 18 años, altura = 174.5 cm, peso = 53,9 kg) ha sido incluida en este trabajo. Era una atleta, especialista en salto de altura, sana y sin lesiones que realiza atletismo desde hace 6 años.

Recogida de datos

Al comienzo de los test, se tomaron los datos de altura y peso de la participante usando una cinta métrica y una plataforma de fuerzas (9287CA, Kistler, Suiza), respectivamente. Tras estas mediciones, se realizó un calentamiento que consistía en 5 minutos corriendo a un ritmo suave elegido por la participante, seguido de una serie de estiramientos dinámicos y movilidad articular.

Una vez realizado el calentamiento, se colocó un teléfono móvil con sistema operativo Android (Honor 10, Huawei Technologies) en la zona lumbar de la participante usando un cinturón de velcro (Figura 1) con una aplicación gratuita (Accelerometer Analyzer, Mobile Tools, Polonia) con una frecuencia de registro de las aceleraciones de 250 Hz. Durante las dos sesiones de test, la participante llevaba sus propias zapatillas deportivas y ropa de deporte.



Figura 1. Sujeción del teléfono móvil en la zona lumbar usando un cinturón de velcro.

La primera sesión de test comenzaba con 10 saltos bipodales continuos. Durante estos, se dieron instrucciones de colocar las manos en la cadera y mantener las rodillas extendidas mientras usaba los tobillos y dedos de los pies para impulsarse. La fuerza de reacción del suelo (GRF; por sus siglas en inglés *Ground Reaction Force*) para esta tarea se midió con la misma plataforma de fuerzas triaxial, incrustada en el suelo, que recogía la GRF en los tres ejes a una frecuencia de 500 Hz (Simons y Bradshaw, 2016).

Tras esta tarea, se realizaron recepciones y *drop jumps* desde tres alturas de cajón diferentes (30, 40 y 50 cm) sobre la plataforma de fuerzas triaxial y con una frecuencia de registro de 1 000 Hz. Para ambos ejercicios se dieron instrucciones de colocar las manos en la cadera, salir del cajón avanzando un pie primero a elección de la participante y dejarse caer sin hacer un movimiento previo de subida o bajada sobre sí misma antes de realizar la tarea. En las recepciones, se indicó que se debía caer con ambos pies en la plataforma. Para los *drop jumps*, se pidió que se saltase tan rápido y alto como fuera posible tras el primer contacto con el suelo. Se realizó primero una prueba de cada tarea desde cada una de las alturas y si no era suficiente para sentirse cómoda en el ejercicio, se daba la opción de probar nuevamente. Se registraron tres intentos desde cada una de las alturas. El orden de las tareas fue de menor a mayor altura del cajón. El tiempo de descanso entre cada repetición era de 1 minuto y entre tareas se recuperaban 3 minutos.

La segunda sesión de test se centraba en saltos con componente horizontal. El calentamiento realizado era el mismo que para la primera sesión y el teléfono móvil se colocaba en la misma posición (Figura 1).

La primera tarea consistía en tres saltos monopodales continuos con la pierna dominante. Para este ejercicio se utilizaron dos plataformas de fuerzas contiguas y se colocaron tres conos de 38 cm de altura que la deportista debía saltar por encima y servían para marcar las zonas de salto: delante de la primera plataforma de fuerzas, entre las plataformas de fuerzas y detrás de la segunda plataforma de fuerzas (Figura 2). Así, la recepción del primer salto y despegue del segundo debía hacerse en la primera plataforma de fuerzas y la recepción del segundo salto y despegue del tercero debía hacerse en la segunda plataforma de fuerzas, ambas registrando a una frecuencia de 1 000 Hz. En este ejercicio no se dieron instrucciones sobre dónde colocar las manos. Se pidió que no existiera una pausa entre saltos, sino que se realizaran de manera continua. La segunda tarea se realizó con las mismas condiciones que la primera, pero de manera bipodal.



Figura 2. Colocación de tres conos para las tareas de saltos monopodales continuos y saltos bipodales continuos.

Tras estas, se realizaron tres saltos bipodales horizontales de mayor longitud. La recepción del segundo salto y despegue del tercero se realizaba sobre la plataforma de fuerzas registrando a una frecuencia de 1 000 Hz. No se dieron instrucciones sobre dónde colocar las manos y se pidió que los saltos fuesen de la mayor longitud posible y continuos, sin realizar una pausa entre ellos.

La última tarea fueron tres saltos de zancada horizontales. La recepción del segundo salto y despegue del tercero se realizaba con la pierna dominante sobre la plataforma de fuerzas

registrando a una frecuencia de 1 000 Hz. Las instrucciones fueron las mismas que para la tercera tarea.

Para todos los saltos de la segunda sesión se realizó primero una prueba y si no era suficiente para sentirse cómoda en el ejercicio, se daba la opción de probar nuevamente. El tiempo de descanso entre cada repetición era de 1 minuto y entre tareas se recuperaban 3 minutos.

Análisis de los datos

Los datos de la plataforma de fuerzas fueron convertidos de fuerza a aceleración utilizando la ecuación $a = F/m$, lo que permitió convertir los Newtons en $m \cdot s^{-2}$.

Los datos de aceleración en los ejes x, y, z de las plataformas de fuerzas y del acelerómetro del teléfono móvil han sido analizados utilizando la siguiente ecuación de aceleración resultante:

$$a_r = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

donde a_r es la aceleración resultante, a_x es la aceleración en el eje x, a_y es la aceleración en el eje y, y a_z es la aceleración en el eje z. Todas las aceleraciones se expresan en $m \cdot s^{-2}$. La aceleración resultante ha sido filtrada con un filtro Butterworth de cuarto orden de paso bajo, utilizando una frecuencia de filtrado de 100 Hz para los datos de las plataformas de fuerzas y de 20 Hz para los del teléfono móvil. En la tarea de 10 saltos bipodales continuos, el primero y el último contacto con el suelo se excluyeron del análisis. Para esta tarea, las recepciones, los saltos bipodales horizontales y los saltos de zancada horizontales, se ha extraído el pico de la aceleración resultante. Para los *drop jumps* se han extraído dos picos, el de la recepción de la caída y el de la recepción del salto posterior. En los saltos monopodales continuos y los saltos bipodales continuos horizontales se han extraído dos picos, uno de cada plataforma. Para la extracción de todos los picos de la aceleración resultante se ha utilizado Python v3.7 (Python Software Foundation, <https://www.python.org/>).

Análisis estadísticos

Todos los picos extraídos de la aceleración resultante se recopilaron en una hoja de cálculo (Microsoft Excel 2016, Microsoft, Redmond, WA, USA) donde se realizaron los análisis estadísticos. Se calcularon las correlaciones existentes entre los picos de la aceleración resultante de la plataforma de fuerzas y del teléfono móvil usando el coeficiente de correlación de Pearson, tanto para los saltos verticales como los horizontales por separado, y para ambos en conjunto. La magnitud de la correlación se interpretó como <0.1 'trivial', 0.1-0.29 'pequeña', 0.3-0.49 'moderada', 0.5-0.69 'alta', 0.7-0.89 'muy alta', y 0.9-1 'casi perfecta' (Simons C. y Bradshaw E. J., 2016; Hopkins, 2006). Todas aquellas correlaciones en las que se obtuvieran valores mayores de 0.7 ('muy alta' o 'casi perfecta') indicarían que el acelerómetro del teléfono móvil ofrece una buena estimación de la carga de impacto.

3. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los picos de la aceleración resultante obtenidos en todas las tareas realizadas durante las dos sesiones de test (Tabla 1).

Tabla 1. Picos de aceleración resultante obtenidos de la plataforma de fuerzas y el acelerómetro del móvil para cada tarea.

| Tarea | Intento | | Plataforma de fuerzas ($m \cdot s^{-2}$) | Acelerómetro del teléfono móvil ($m \cdot s^{-2}$) | |
|-------------------------------|---------|----|---|---|-------|
| 10 saltos bipodales continuos | 1 | 1 | 64.83 | 46.06 | |
| | | 2 | 75.64 | 56.59 | |
| | | 3 | 72.17 | 56.27 | |
| | | 4 | 75.15 | 50.04 | |
| | | 5 | 73.03 | 51.47 | |
| | | 6 | 68.04 | 51.27 | |
| | | 7 | 78.85 | 60.26 | |
| | | 8 | 69.58 | 52.47 | |
| | | 9 | 75.51 | 55.34 | |
| | | 10 | 77.71 | 53.50 | |
| | 2 | 2 | 1 | 66.03 | 54.48 |
| | | | 2 | 69.08 | 54.26 |
| | | | 3 | 70.94 | 54.33 |
| | | | 4 | 75.17 | 52.75 |
| | | | 5 | 70.73 | 54.56 |
| | | | 6 | 69.99 | 47.37 |
| | | | 7 | 73.33 | 51.92 |
| | | | 8 | 81.24 | 54.31 |
| | | | 9 | 81.51 | 53.81 |
| | | | 10 | 80.13 | 58.11 |
| | 3 | 3 | 1 | 65.27 | 48.86 |
| | | | 2 | 67.25 | 59.28 |
| | | | 3 | 71.21 | 58.22 |
| | | | 4 | 72.66 | 51.54 |

| | | | | |
|---------------------------|---|----|-------|-------|
| | | 5 | 65.08 | 54.90 |
| | | 6 | 69.30 | 54.09 |
| | | 7 | 66.09 | 50.81 |
| | | 8 | 65.38 | 47.56 |
| | | 9 | 53.26 | 55.46 |
| | | 10 | 72.86 | 57.42 |
| Recepciones (30 cm) | 1 | | 78.11 | 56.66 |
| | 2 | | 70.08 | 59.17 |
| | 3 | | 48.87 | 47.42 |
| Recepciones (40 cm) | 1 | | 73.71 | 53.34 |
| | 2 | | 68.74 | 60.42 |
| | 3 | | 69.80 | 54.18 |
| Recepciones (50 cm) | 1 | | 97.81 | 61.89 |
| | 2 | | 79.67 | 55.92 |
| | 3 | | 82.44 | 63.03 |
| <i>Drop jumps</i> (30 cm) | 1 | 1º | 42.32 | 38.34 |
| | | 2º | 68.32 | 52.14 |
| | 2 | 1º | 36.78 | 41.44 |
| | | 2º | 61.50 | 46.39 |
| | 3 | 1º | 44.47 | 35.10 |
| | | 2º | 71.77 | 50.09 |
| <i>Drop jumps</i> (40 cm) | 1 | 1º | 48.90 | 39.33 |
| | | 2º | 73.16 | 55.86 |
| | 2 | 1º | 54.66 | 44.50 |
| | | 2º | 73.21 | 54.27 |
| | 3 | 1º | 48.47 | 42.20 |

| | | | | |
|---|---|----|--------|-------|
| | | 2º | 70.36 | 56.60 |
| <i>Drop jumps</i> (50 cm) | 1 | 1º | 64.24 | 42.11 |
| | | 2º | 79.57 | 51.51 |
| | 2 | 1º | 62.62 | 47.60 |
| | | 2º | 77.32 | 56.28 |
| | 3 | 1º | 55.21 | 49.51 |
| | | 2º | 64.49 | 60.63 |
| Saltos monopodales continuos | 1 | 1º | 38.57 | 41.70 |
| | | 2º | 42.87 | 37.39 |
| | 2 | 1º | 42.45 | 42.43 |
| | | 2º | 46.74 | 57.37 |
| | 3 | 1º | 36.96 | 46.76 |
| | | 2º | 39.02 | 46.20 |
| Saltos bipodales continuos horizontales | 1 | 1º | 47.06 | 23.14 |
| | | 2º | 51.78 | 33.03 |
| | 2 | 1º | 48.13 | 37.78 |
| | | 2º | 56.64 | 28.11 |
| | 3 | 1º | 59.69 | 41.24 |
| | | 2º | 54.26 | 32.73 |
| Saltos bipodales horizontales | 1 | | 61.61 | 47.40 |
| | 2 | | 76.99 | 42.20 |
| | 3 | | 103.49 | 42.35 |
| Saltos de zancada horizontales | 1 | | 52.11 | 37.13 |
| | 2 | | 50.59 | 32.27 |
| | 3 | | 52.38 | 36.75 |

En la tabla 2 se presentan los picos de caída de la aceleración resultante de las tareas de recepciones y *drop jumps*, junto con el porcentaje de incremento que supone la influencia de la altura del cajón (Tabla 2).

Tabla 2. Picos de caída de la aceleración resultante de las tareas de recepciones y drop jumps y porcentaje de incremento en cada altura.

| Tarea | Altura del cajón (cm) | Media (m·s ⁻²) | | % Incremento | |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| | | Plataforma de fuerzas | Acelerómetro del teléfono móvil | Plataforma de fuerzas | Acelerómetro del teléfono móvil |
| Recepciones | 30 | 65,69 | 54,42 | - | - |
| | 40 | 70,75 | 55,98 | 0,077 | 0,029 |
| | 50 | 86,64 | 60,28 | 0,225 | 0,077 |
| | | | | 0,319 | 0,108 |
| <i>Drop jumps</i> | 30 | 41,19 | 38,29 | - | - |
| | 40 | 50,68 | 42,01 | 0,230 | 0,097 |
| | 50 | 60,69 | 46,41 | 0,198 | 0,105 |
| | | | | 0,473 | 0,212 |

El coeficiente de correlación de Pearson se ha calculado entre los picos de aceleración resultante de las plataformas de fuerzas y del acelerómetro del teléfono móvil para el total de saltos analizados (Figura 3), el conjunto de saltos verticales (Figura 4) y el conjunto de saltos horizontales (Figura 5), apareciendo la mayor correlación entre la plataforma de fuerzas y el teléfono móvil en el caso de los saltos verticales ($r = 0.75$, 'muy alta'), seguido del conjunto de los saltos ($r = 0.63$, 'alta') y, por último, los saltos horizontales ($r = 0.01$, 'trivial') (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson (r) y Error Estándar (ES) entre la plataforma de fuerzas y el acelerómetro del teléfono móvil en saltos verticales y horizontales, saltos verticales y saltos horizontales.

| Tarea | r | ES (m·s ⁻²) |
|----------------------------------|------|-------------------------|
| Saltos verticales y horizontales | 0,63 | 10,83 |
| Saltos verticales | 0,75 | 7,36 |
| Saltos horizontales | 0,01 | 16,27 |

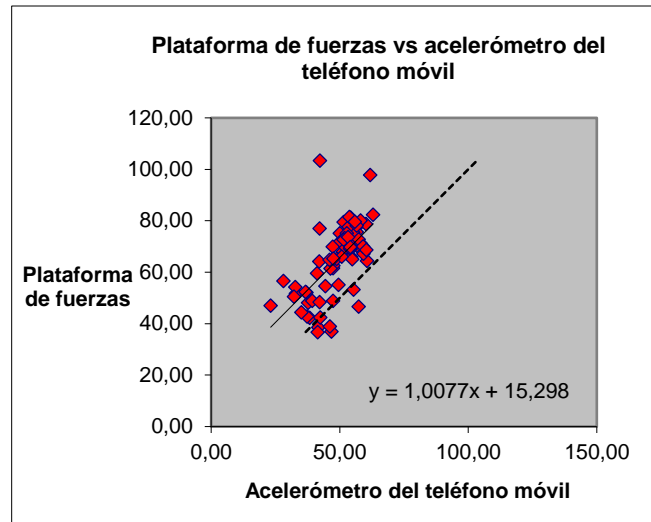


Figura 3. Correlación entre la plataforma de fuerzas y el acelerómetro del teléfono móvil en el total de saltos analizados.

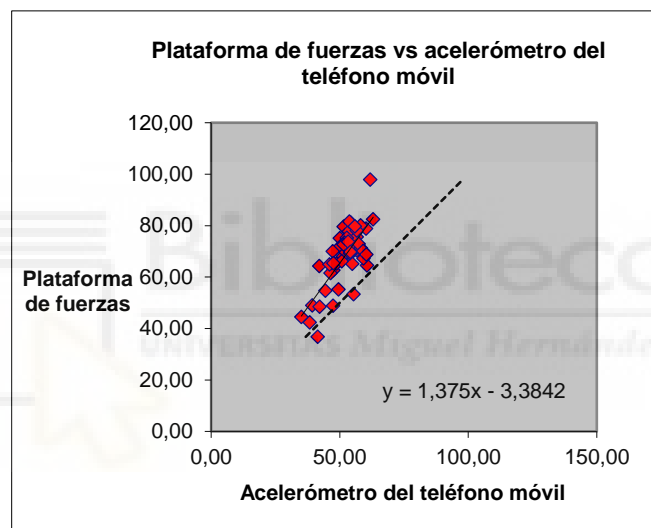


Figura 4. Correlación entre la plataforma de fuerzas y el acelerómetro del teléfono móvil en el conjunto de saltos verticales.

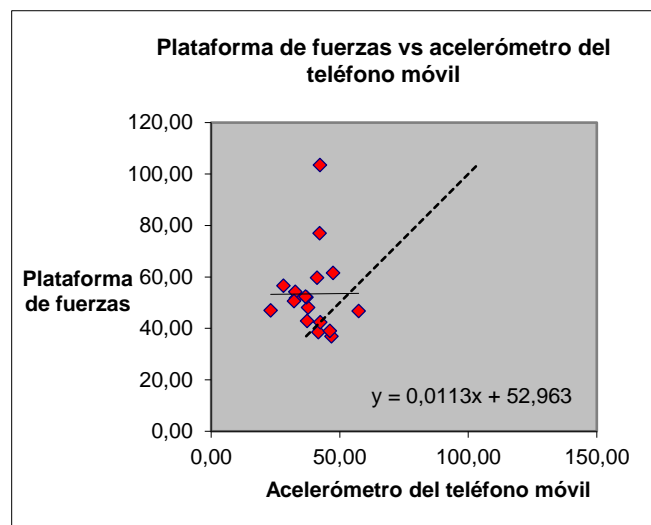


Figura 5. Correlación entre la plataforma de fuerzas y el acelerómetro del teléfono móvil en el conjunto de saltos horizontales.

Se ha realizado el mismo cálculo para todas las tareas (Tabla 4). Los coeficientes de correlación oscilan entre $r = -0.76$ y $r = 0.98$, apareciendo desde correlaciones triviales hasta casi perfectas.

Tabla 4. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la plataforma de fuerzas y el acelerómetro del teléfono móvil en todas las tareas.

| Tarea | r |
|---|-------|
| 10 saltos bipodales continuos | 0,29 |
| Recepciones | 0,76 |
| <i>Drop jumps</i> | 0,8 |
| Saltos monopodales continuos | 0,42 |
| Saltos bipodales continuos horizontales | 0,45 |
| Saltos bipodales horizontales | -0,76 |
| Saltos de zancada horizontales | 0,98 |

4. DISCUSIÓN

El uso de acelerómetros para el control de la carga en saltos verticales y horizontales muestra una correlación alta con la plataforma de fuerzas ($r = 0.63$). Simons y Bradshaw (2016) ya indicaban correlaciones significativas altas y muy altas entre los datos de acelerometría y de la plataforma de fuerzas en tareas de recepción y saltos verticales. Elvin, Elvin y Arnoczky (2007) encontraron un coeficiente de correlación de 0.81 entre el pico de GRF y el pico de la aceleración tibial durante el salto vertical.

Los picos de caída de la aceleración resultante obtenidos en las tareas de recepciones y *drop jumps*, tanto de la plataforma de fuerzas como del teléfono móvil, presentaban un incremento a medida que aumentaba la altura de los cajones, pese a que el incremento en los datos del teléfono móvil era de menor magnitud. Yeow, Lee y Goh (2010) ya expresaban la influencia de la altura del cajón, encontrado un mayor pico de la resultante de GRF durante las recepciones monopodales desde una altura de 0.6 cm comparado con 0.3 cm. Seegmiller y McCaw (2003) también observan una relación entre el pico de fuerza vertical y el incremento de la altura de caída, ya que en ambos grupos del estudio este pico aumentaba significativamente al pasar de 30 cm a 60 y 90 cm.

Al comparar los picos de aceleración resultante obtenidos de la plataforma de fuerzas y el teléfono móvil, se observa que los picos del teléfono móvil son menores en todas las tareas. Esto puede deberse a la colocación del teléfono móvil en la zona lumbar, ya que en el momento del contacto con el suelo la carga de impacto se reduce mediante estructuras pasivas como el suelo, calzado, hueso y cartílago (Lafortune M. A., Henning E. M. y Lake M. J., 1996a) y los músculos absorben la energía cinética de los movimientos del cuerpo humano (Lafortune M. A., Henning E. M. y Lake M. J., 1996b). Así, la aceleración resultante en la zona lumbar no es de la

misma intensidad que si se colocara un acelerómetro en zonas distales de la pierna. Zhang, Derrick, Evans y Yu (2008) expresan que el cuerpo actúa como un filtro y absorbe el impacto durante el proceso de recepción, encontrando mayores picos de aceleración en la tibia comparado con la cabeza durante la caída de diferentes alturas. Aún así, la correlación que resulta del conjunto de saltos verticales es muy alta ($r = 0.75$), lo que sugiere que el acelerómetro del teléfono móvil puede ser una herramienta adecuada para el análisis de la intensidad de este tipo de saltos teniendo en cuenta el error que presenta ($ES = 7.36$).

Sin embargo, para el conjunto de los saltos horizontales la correlación es trivial ($r = 0.01$). Esto puede estar ocasionado por diversas razones, aunque no se han encontrado estudios previos que analizaran saltos horizontales con acelerometría con los que poder comparar. Uno de los posibles motivos sería la colocación del teléfono móvil en la zona lumbar por la reducción de la intensidad del impacto a medida que las estructuras corporales lo absorben, tal y como se ha comentado en el caso de los saltos verticales. El sistema de sujeción del teléfono móvil a la zona lumbar podría ser otra limitación debido al posible ruido en la señal por los movimientos de este no relacionados con la tarea, que resultarían en aceleraciones en cualquiera de los tres ejes que pueden conllevar una incorrecta identificación de los picos. Otro factor que puede influenciar a esta relación es la existencia de picos en los diferentes ejes (x, y, z). Al realizar saltos verticales, los picos más significativos se concentran en el eje vertical, pero al realizar saltos horizontales pueden aparecer picos de intensidad similar en el eje vertical y el anteroposterior, incrementándose los picos en el eje transversal en los saltos monopodales por la oscilación hacia los lados.

Pese a que este trabajo tiene sus limitaciones, la correlación existente entre la aceleración resultante de la plataforma de fuerzas y el teléfono móvil es alta, por lo que se sugiere que el uso del acelerómetro de un teléfono móvil como herramienta para el análisis de la intensidad de los saltos verticales es adecuado, pero no para los saltos horizontales. Futuros trabajos deberían estudiar las relaciones existentes entre ambos métodos de medida con diferentes colocaciones del sistema de acelerometría para considerar los efectos de la amortiguación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Banister, E. W. (1991). *Modeling elite athletic performance: physiological testing of the high-performance athlete*. Champaign, EE. UU.: Human Kinetics Books.
- Barbado, D., Irlés-Vidal, B., Prat-Luri, A., García-Vaquero, M. P., y Vera-García, F. J. (2018). Training intensity quantification of core stability exercises based on a smartphone accelerometer. *PLOS ONE*, 13(12).
- Borresen, J., y Lambert, M. I. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports medicine*, 39(9), 779-795.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), S2-161-S2-170.
- Dalen, T., Øverås, Ø., van den Tillaar, R., Welde, B., y von Heimburg, E. D. (2018). Influence of different soccer-specific maximal actions on physiological, perceptual and accelerometer measurement loads. *Open access journal of sports medicine*, 9, 107-114.
- Edwards, S. (1993). *Heart rate monitor book*. Sacramento, EE. UU.: Fleet Feet Press.
- Elvin, N. G., Elvin, A. A. y Arnoczky, S. P. (2007). Correlation Between Ground Reaction Force and Tibial Acceleration in Vertical Jumping. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 180-189.

- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports medicine*, 44(2), S139-S147.
- Hopkins, W. G. (2006). A scale of magnitudes for effect statistics. Recuperado de <http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>
- Jarning, J. M., Mok, K. M., Hansen, B. H., y Bahr, R. (2015). Application of a tri-axial accelerometer to estimate jump frequency in volleyball. *Sports biomechanics*, 14(1), 95-105.
- Jiménez-Reyes, P., y González-Badillo, J. J. (2011). Control de la carga de entrenamiento a través del CMJ en pruebas de velocidad y saltos para optimizar el rendimiento deportivo en atletismo. *Cultura, ciencia y deporte*, 6, 207-217.
- Lafortune, M. A., Hennig, E. M., y Lake, M. J. (1996a). Dominant role of interface over knee angle for cushioning impact loading and regulating inicial leg stiffness. *Journal of Biomechanics*, 29(12), 1523-1529.
- Lafortune, M. A., Lake, M. J., y Hennig, E. M. (1996b). Differential shock transmission response of the human body to impact severity and lower limb posture. *Journal of Biomechanics*, 29(12), 1531–1537.
- Lucía, A., Hoyos, J., Carvajal, A., y Chicharro, J. L. (1999). Heart Rate Response to Professional Road Cycling: The Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*, 20, 167-172.
- Mujika, I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), S2-9-S2-17.
- Roos, L., Taube, W., Brandt, M., Heyer, L., y Wyss, T. (2013). Monitoring of Daily Training Load and Training Load Responses in Endurance Sports: What Do Coaches Want?. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 61(4), 30-36.
- Seegmiller, J. G., y McCaw, S. T. (2003). Ground Reaction Forces Among Gymnasts and Recreational Athletes in Drop Landings. *Journal of Athletic Training*, 38(4), 311-314.
- Shah, N., Aleong, R., y So, I. (2016). Novel Use of a Smartphone to Measure Standing Balance. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 3(1), 1-11.
- Simons, C., y Bradshaw, E. J. (2016). Do accelerometers mounted on the back provide a good estimate of impact loads in jumping and landing tasks?. *Sports biomechanics*, 15(1), 76-88.
- Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B., y Gregson, W. (2017). Monitoring Fatigue Status in Elite Team-Sport Athletes: Implications for Practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), S2-27-S2-34.
- Yang, C. C., y Hsu, Y. L. (2010). A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring. *Sensors*, 10, 7772-7788.
- Yeow, C. H., Lee, P. V. S., y Goh, J. C. H. (2010). Sagittal knee joint kinematics and energetics in response to different landing heights and techniques. *The Knee*, 17, 127-131.
- Zhang, S., Derrick, T. T., Evans, W., y Yu, Y. J. (2008). Shock and impact reduction in moderate and strenuous landing activities. *Sports biomechanics*, 7(2), 296-309.