

PARTICIPACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ACELEROMETRÍA EN EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

PARTICIPATION OF ACCELEROMETRY DEVICES IN SPORTS TRAINING

Ramírez González Andrés Felipe

andres.ramirez@usbmed.edu.co
Universidad San Buenaventura
Entrenamiento deportivo, actividades acuáticas
Colombia

Munera Meneses José Alejandro

Joseamunerchepe99@gmail.com
Universidad San Buenaventura
entrenamiento deportivo
Colombia

Carmona Montoya Jonathan

jhonatan.carmona@hotmail.com
Universidad San Buenaventura
Entrenamiento deportivo
Colombia

Vergara Ruiz Nicolás Ubeimar

Nicolás.vergara.1981@gmail.com
Universidad San Buenaventura
Entrenamiento deportivo
Colombia

Ávila Londoño Sebastián

Sebas_tatan519@hotmail.com
Universidad San Buenaventura
Colombia

Resumen

El objetivo de este proyecto fue identificar la participación de los dispositivos de acelerometría en el entrenamiento deportivo, por medio de una revisión sistemática de artículos científicos publicados en bases de datos PUDMED, SCIENCEDIRECT, GOOGLE SCHOLAR, APUNTS, REDALYC, DIALNET, con un total de 60 artículos seleccionados, se establecieron 5 variables de análisis: ubicación corporal del dispositivo, variable de medición del entrenamiento, deportes individuales, deportes de conjunto y actividad física. Los acelerómetros permiten identificar y censar variables que son fundamentales para la cuantificación y control de la carga de entrenamiento como: aceleraciones, velocidad, gasto energético, nivel de fatiga, cinemática de los

gestos técnicos, entre otros, que proporcionan al entrenador datos en tiempo real para la planificación y retroalimentación de los deportistas.

Palabras clave: Entrenamiento deportivo, Dispositivos inerciales, Revisión sistemática, Acelerometría, deportes.

Abstract

The aim of this project was to identify the participation of accelerometry devices in sports training, through a systematic review of scientific articles published in databases such as PUDMED, SCIENCEDIRECT, GOOGLE SCHOLAR, APUNTS, REDALYC, DIALNET, with a total Of 60 articles, 5 variables were established: body location of the device, training measurement variable, individual sports, team sports and physical activity. This series of devices allow the identification and census of several variables that are fundamental for the quantification and control of training load such as: accelerations, speed, energy expenditure, level of fatigue, kinematics of technical gestures, among others, that provide the coach with data in real time for planning and feedback of athletes.

Keywords: Sport training, Inertial devices, Systematic review, Accelerometry, Sports.

1 Introducción

Para evaluar diferentes variables en el entrenamiento deportivo existen numerosos instrumentos tecnológicos que nos permiten identificar y controlar los aspectos que influyen en el rendimiento, tales como las capacidades físicas, gasto energético, nivel de fatiga y aspectos técnicos, entre otros (Pelham et al., 2006). A su vez, estas posibilidades de medición y control, permiten que la orientación de la planificación deportiva sea de mayor objetividad.

En los últimos años la acelerometría ha sido un foco de estudio y escenario de investigación para los entrenadores y académicos del área, ya que estos dispositivos permiten medir diferentes variables con alta validez y fiabilidad en tiempo real (Iltis & Givens, 2000). Estos dispositivos se han tornado de gran interés para la comunidad científica, muestra de esto, es la revisión sistemática realizada por (Aguilar et al., 2014) que describe la acelerometría como método para evaluar la actividad física en los diferentes periodos de la vida, que puede ser utilizado en personas con obesidad, con lesiones músculo esqueléticas, con discapacidad y/o problemas psicológicos, mujeres embarazadas, personas sedentarias y deportistas de rendimiento; en un rango de edad de 3

a 90 años, por lo tanto, es claro que el uso de este tipo de dispositivos para el control de variables de la carga, no es exclusivo del entrenamiento deportivo, ya que el escenario de la actividad física lo ha utilizado ampliamente (Oviedo et al., 2013).

Por otra parte, los dispositivos se han venido implementado a lo largo de la década y se ha podido establecer por (Ganzevles et al., 2017), en su revisión sistemática, que los dispositivos de acelerometría en deportes específicos como la natación pueden ser de gran ayuda para monitorear, controlar y retroalimentar a los nadadores y entrenadores, en diferentes aspectos que son sensibles de cuantificar al mismo tiempo” los acelerómetros constituyen una herramienta prometedora para el monitoreo continuo de múltiples atletas durante el entrenamiento”.

Los acelerómetros se han utilizado para identificar el estilo de nado (Davey, 2004) y también para calcular parámetros cinemáticos como la frecuencia de movimientos (Davey et al., 2008).

Para certeza de los datos adquiridos por medio de los acelerómetros, en muchos casos se hace necesario combinar su uso con otros dispositivos, como un monitor de frecuencia cardiaca, microprocesador, resistencia (RSET), giroscopio, magnetómetro, unidades de medida inercial (IMU), como apoyo al almacenamiento, medición y comparación (Davey et al, 2008). Por otro lado, se recomienda el uso de software de bases de datos, que faciliten la interpretación y análisis de los datos entregados por los dispositivos (Krasnoff et al., 2008). Según la evidencia empírica, se tiene conocimiento de tres tipos de acelerómetros: uniaxial, biaxial y triaxial; estos se diferencian en la cantidad de ejes o planos en que recolectan los datos siendo el triaxial el acelerómetro más utilizado en el área del entrenamiento (Ganzevles et al., 2017).

Una de las características más destacable de los dispositivos de acelerometría en la actualidad, es la entrega de datos en tiempo real dentro de los escenarios específicos del entrenamiento, además, otro atributo a resaltar, son sus bajas dimensiones de hardware, que facilitan su ubicación en diferentes partes del cuerpo cómo la escápula, muñeca, cadera, tobillo, tibia y antebrazo, dependiendo de la variable que se quiera medir. En la cadera por ejemplo se ha utilizado para medir

los niveles de actividad física, rendimiento postural, estabilidad, intensidad y velocidad (Oviedo et al., 2013). En la muñeca, tobillo y demás articulaciones antes mencionadas, se ha utilizado el acelerómetro para medir la gestualidad técnica, estimación del gasto energético, cuantificar carga de entrenamiento, fuerza en patrones de movimiento y su respectiva frecuencia (Lee et al, 2018; Pinar & Soyly, 2010).

Gracias a la facilidad de uso, bajo costo de fabricación y precisión en la medición de múltiples variables, estos dispositivos, se han ido implementando cada vez más en el ámbito deportivo, no obstante cuando se requieren mediciones altamente precisas y confiables, los entrenadores a menudo usan videografía. Sin embargo, si bien el análisis de video es muy útil para mediciones precisas, requiere demasiado tiempo controlar la práctica diaria de entrenamiento (Ganzevles et al., 2017). Por ende, se ha creado la necesidad de utilizar otro tipo de medios electrónicos o herramientas, las cuales facilitan el control del rendimiento, tanto en entrenamiento como en competencia, en tiempo real y de manera rápida, para generar planes de entrenamiento más objetivos y cercanos a las condiciones específicas de la forma deportiva de los deportistas.

Así mismo, por este método de medición, se ha determinado el nivel de fatiga (diferencia entre la primera repetición y la última) en poblaciones entrenadas de un deporte específico (Gómez, 2017). También han sido objeto de medición en los últimos años otras variables como cuantificación de cargas y capacidades condicionales. En algunos de estos estudios se han utilizado los instrumentos de acelerometría para determinar su confiabilidad, midiendo las mismas variables y con fines de conocer los estados físicos actuales de los deportistas (Gómez- Piriz et al., 2012; Fernández et al., 2012).

La intención del presente estudio es identificar la participación de los dispositivos de acelerometría en el entrenamiento deportivo por medio de una revisión sistemática, ya que estos elementos se han tornado de gran relevancia en la comunidad científica del ámbito deportivo, por su funcionalidad, portabilidad y confiabilidad al momento en el que los entrenadores requieran evaluar diferentes variables que influyen en el rendimiento de los deportistas.

2 Metodología

La presente revisión fue realizada por medio de una metodología de revisión sistemática bajo un enfoque cualitativo (Sampieri et al., 1998); donde la identificación de los artículos fue efectuada a través de un sistema de búsqueda en bases de datos como PUBMED, SCIEDIRECT, GOOGLE SCHOLAR, APUNTS, REDALYC, DIALNET, los códigos de búsqueda se ingresaron en idiomas como español, inglés y portugués. Los artículos se filtraron a estudios publicados a partir del año 2005 en adelante y se utilizó una matriz de Excel para organizar la información más relevante de cada estudio, dentro de la matriz de distribuyeron 5 variables en las que se hizo una distribución temática de cada estudio, las variables analizadas fueron: ubicación corporal del dispositivo, variable de medición del entrenamiento, deportes individuales, deportes de conjunto y actividad física. Luego de realizar la división de los artículos por cada tema según la variable, se pasó a identificar las relaciones entre ellos y seleccionar los principales aportes a la comunidad científica del área del entrenamiento deportivo.

3 Resultados

A partir de la búsqueda realizada y teniendo en cuenta los criterios de inclusión, se analizaron un total de 60 artículos, los cuales se dividieron en tres bloques; Deportes individuales, deportes de conjunto y actividad física; en los que se analizaron variables de ubicación y medición.

En cuanto a la variable de medición encontramos que fue implementada en los 60 artículos descritos en esta revisión sistemática de la acelerometría en el entrenamiento deportivo, en unos más que en otros como es el caso de la natación siendo esta la de más evidencias con un total de 19, en los hallazgos se encontró que midieron, la velocidad, aceleración lineal, ángulos que forma el cuerpo en contacto con el agua, variaciones en la velocidad, la fuerza máxima media y mínima, el gasto energético, la fatiga, la técnica del nadador, la intensidad, frecuencia del ciclo y el movimiento. Respeto a la actividad física se observaron mediciones en la fuerza, gasto energético, fatiga, velocidad, intensidad, también se pudo referenciar que fue la que más reclutó participantes

en sus estudios con grupos hasta de 394 sujetos activos en algún deporte, referente a los deportes de conjunto en el fútbol 12 estudios ahondaron en la técnica, resistencia, fatiga, intensidad, velocidad, aceleración, frecuencia cardiaca entre otros.

En la variable de ubicación se seleccionaron los artículos según la localización del dispositivo en el cuerpo, se procedió a subdividir los artículos de acuerdo a la articulación asignada para instalar el dispositivo, como en la cadera, zona lumbar, sacro, escápula, tibia, muñeca, tobillo, brazos y antebrazo, entre otras. Una vez repartidas en los subgrupos se dio a revisar cuáles estudios son similares y cuáles no, finalmente se seleccionaron 30 estudios realizando una breve descripción de cada uno.

En el caso de la actividad física, se enfatizó en poblaciones tanto jóvenes como de la tercera edad, poblaciones entrenadas y no entrenadas, en el que se hallaron 13 artículos los cuales se enfocan en la medición del gasto energético y niveles de actividad física. En estos se agruparon otros 5 estudios los cuales se integran con cierta relación en esta variable y que miden aspectos como cuantificaciones de carga y medición de fatiga.

Por otra parte, en la variable deportes individuales, se obtuvo un total de 25 artículos donde el análisis se enfocó principalmente en determinar el uso del acelerómetro, estos a su vez fueron distribuidos en cada modalidad deportiva, natación carreras con 19 artículos, atletismo con 4 artículos, ciclismo y canotaje con un artículo respectivamente.

En los deportes de conjunto, se enfocaron en el estudio de las cargas internas y externas en jugadores de competición, en donde se encontraron diferentes disciplinas las cuales tienen gran coincidencia en las variables medidas en cada estudio. En el fútbol se encontraron 12 artículos, en el ultimate fue encontrado solo 1 artículo, en futsal fueron hallados 2 artículos, en los que sus variables de medición eran muy similares, en baloncesto fueron encontrados 3 y en el balonmano 3 artículos.

3.1 Variables de medición

En la acelerometría se miden diversas variables de forma directa lo cual es un factor imprescindible al momento de valorar la fuerza, velocidad, técnica, y consumo energético, de modo tal que el entrenador pueda observar dichas variables, estudiarlas y así desarrollar un plan de entrenamiento óptimo para la práctica de un deporte.

En la actualidad, los acelerómetros permiten una información más detallada y ajustada a las necesidades del entrenador respecto a los efectos de la actividad deportiva en tiempo real (Ambrosi, 2007).

Los acelerómetros son herramientas electrónicas que miden movimientos corporales en relación a la aceleración para detallar la actividad física en un determinado periodo el cual proporciona datos como la frecuencia, la intensidad y duración (Ambrosi, 2007).

A nivel deportivo la fuerza, el cambio de la velocidad y la frecuencia cíclica se permiten medir en los atletas a través del acelerómetro (Dekerle et al., 2005; Hellard et al., 2008).

En el estudio realizado por Causa (2011), se utilizaron tres sensores (un sensor de efecto hall, un acelerómetro y un sensor de oximetría), para evaluar variables físicas y fisiológicas en ciclistas durante un entrenamiento con el fin de recolectar información acerca de su rendimiento actual.

Las variables físicas a medir sobre el ciclista fueron: distancia, velocidad y aceleración además de las variables fisiológicas como: la saturación parcial de oxígeno en sangre en forma no invasiva (oximetría de pulso) y la frecuencia cardíaca y respiratoria.

En otro estudio utilizaron el acelerómetro como instrumento para medir la actividad física; En el cual se comprueba una fiabilidad alta para el registro y almacenamiento sobre el nivel de actividad física que realiza cada individuo en un periodo determinado (Aguilar, 2014).

Según Izquierdo et al (2008), la acelerometría permite de manera óptima la monitorización de un sujeto en su vida cotidiana a un costo asequible. Gracias a esto, se logra obtener una variedad de medidas como: clasificación de movimientos, valoración del nivel de actividad física, estimación del gasto de energía metabólica, medida del equilibrio, marcha y levantarse-sentarse.

Los métodos más utilizados para la medición de la actividad física (AF), a partir de la estimación del gasto energético son: Calorimetría, técnica del agua doblemente marcada, monitor de frecuencia cardíaca, sensores de movimiento, podómetros, instrumentos de autoinforme, acelerómetros, entre otros. Estos últimos, tanto uniaxiales (p.ej., Caltrac o CSA) como triaxiales (p.ej., TriTrac), son aparatos electrónicos más sofisticados que miden el ritmo y magnitud con el que el centro de gravedad corporal (o los miembros del sujeto si se fijan en piernas o brazos) se desplaza durante el movimiento. A pesar de que con los datos registrados por estos aparatos se pueden valorar tanto la frecuencia como la duración e intensidad de la AF, no nos facilitan información que permita conocer el tipo específico de la misma. (González, 2011). Se ha determinado que 1 MET corresponde aproximadamente a Kcal/kg/hora producidas en reposo, que a su vez equivale a 4.184 kj/kg/hora (Romero, 2009).

3.2 Variable ubicación

Para evaluar el nivel de intensidad, la fatigabilidad, gasto energético, capacidad técnica, capacidades condicionales (fuerza y velocidad) de manera empírica en las prácticas deportivas resulta complejo por su difícil exactitud, por lo que se convierte en una medición más subjetiva. Dentro de los artículos analizados en este estudio se tiene que los puntos antropométricos más relevantes frente al uso de los dispositivos fueron: la cadera, escápula, muñeca, tobillo, tibia y antebrazo como los más comunes.

Algunos estudios utilizaron los dispositivos ubicándolos a nivel de la cadera, como el de Oviedo et al (2013) para medir la actividad física en adolescentes, otro estudio utilizó la cintura para medir

en adultos mayores tanto los niveles de actividad física como el gasto energético (Anjos et al., 2019). Al igual que en baloncesto para cuantificar la carga de trabajo durante entrenamientos específicos con jugadores elite (Schelling & Torres, 2016).

En fútbol sala para analizar el rendimiento postural en jugadores universitarios se realizó mediante el uso de la acelerometría situando éste en la L5 (Vargas, et al, s, f) y en la L3 para valorar la fuerza en el tronco (Castillo et al., 2018). Otro uso fue para discriminar los patrones de balanceo postural en poblaciones con diferentes niveles de habilidad atlética (Lamoth et al., 2009). También en balonmano se ubicó en la L3 y L4 para describir las diferencias en el rendimiento y biomecánica del salto en deportistas con o sin reconstrucción del LCA (ligamento cruzado anterior) (Setuain et al., 2014). Como en natación se localizó el dispositivo entre la L1 y L3 para analizar el comportamiento frecuencial y temporal de la aceleración a velocidad máxima en los cuatro estilos de nado (Sanz, 2015).

Para cuantificar la intensidad de los entrenamientos de estabilidad del core se ubicó el acelerómetro a la altura de la pelvis (Barbado et al., 2018) y para determinar la velocidad absoluta en estilo libre se ubicó a la altura del sacro. Estos estudios dispusieron a situar el acelerómetro a la altura del sacro porque en este punto antropométrico se minimiza el efecto del balanceo del cuerpo sobre la dirección de la aceleración (Stamm et al., 2011).

Otros estudios han ubicado el acelerómetro en la escápula, en fútbol para analizar las cargas derivadas en futbolistas de élite y para medir las desaceleraciones durante un torneo de alta intensidad (Barron et al., 2014), (Nedergaard et al., 2014). También para cuantificar la carga de entrenamiento, para detallar el perfil cinemático de jugadores semiprofesionales con respecto a los puestos específicos en un terreno de juego (Barbero et al., 2006), (Casamichana et al., 2013) y en fútbol 7 para describir los perfiles físicos y fisiológicos de jugadores no profesionales (Gómez et al., 2012).

Por otro lado, el uso del dispositivo en la escápula se dio en baloncesto para analizar la fuerza en los patrones de movimiento y la relación que hay entre la carga externa y el diseño de ejercicios de entrenamiento, como también en balonmano para caracterizar demandas de carga interna y externa en competición (Sánchez et al., 2019; Mancha et al., 2018). En natación se empleó para monitorizar el tiempo de vuelta, el recuento y frecuencia entre brazadas en nadadores de élite, además de investigar la fiabilidad y utilidad de la acelerometría en esta modalidad deportiva (Ganzevles et al., 2017).

Dentro de las ubicaciones más comunes del acelerómetro encontramos la tibia, en fútbol se ha utilizado para precisar la consistencia de los patrones de aceleración (Arpinar-Avsar & Soyly, 2010), para medir los impactos de la rodilla generados por cambios de cancha. (Gómez et al., 2015) y en la actividad física se ha empleado este dispositivo en la tibia para realizar estudios biomecánicos como el análisis de movimientos que puedan resultar lesivos en la misma actividad física (Camacho et al., 2015).

La muñeca y el tobillo también han sido grandes referentes para la ubicación de los acelerómetros, en natación (Nordsborg et al., 2014; Nordsborg et al., 2015) ha utilizado estas dos articulaciones al mismo tiempo para comparar entre la frecuencia de la brazada y la patada en una piscina y un canal en una prueba de 100 mts y 400 mts; y para la estimación del gasto energético en la carga de entrenamiento.

El tobillo ha servido como una de las cuatro ubicaciones para cuantificar la carga neuromuscular en atletismo (Gómez, 2017). Cómo también solo se sitúa en la muñeca para analizar la posible relación que existe entre el dolor de hombro y fatigabilidad en rotadores externos en nadadores profesionales (Navarro, 2017) y también para la medición en el golpe de nado y evaluación de fatiga (Ohgi et al., 2002).

En los brazos se ha empleado el acelerómetro para reconocer la intensidad de los ejercicios de entrenamiento de fuerza (Pernek et al., 2015) y en natación para analizar las variables de movimiento de las brazadas (Avella, 2011).

Finalmente, la ubicación del acelerómetro en el antebrazo en natación ha sido fiable para la detección de la fase temporal y la estimación de coordinación entre brazos (Dadashi et al., 2013).

3.3 Variable deportes y actividad física

3.3.1 Actividad física.

Por otro lado, la acelerometría ha sido un método o instrumento de medición el cual ha arrojado datos en cuanto a resultados de las variables tanto en la actividad física y otros. En el campo de la actividad física se implementan acelerómetros para la medición de tales variables como gasto energético de personas sedentarias o entrenadas, cuantificación de cargas o para la detección de fatiga (Gomez, 2017). Algunas investigaciones se han centrado en el nivel de actividad física en poblaciones de estudiantes jóvenes Como sucede en el estudio “Niveles de actividad física en población adolescente: estudio de caso”, en el que se pretende determinar diferentes factores como: tiempo total de actividad física en METs, frecuencia cardiaca en reposo y cuantificación del gasto energético. En este se medían 10 horas diarias con ayuda de fórmulas matemáticas y otros instrumentos (Oviedo et al., 2013). Otras investigaciones se han centran en el nivel de actividad física de personas de edad avanzada, siendo medidas por medio de instrumentos de acelerometría y otros que, integrados, ayudan a la obtención de resultados (Anjos et al., 2019; Oviedo et al., 2013).

Para otros casos, se ha medido el nivel de fatiga en poblaciones entrenadas (diferencia entre la primera repetición y la última), como en el caso del estudio “Detección de fatiga en el entrenamiento de fuerza usando acelerometria tridimensional y análisis de componentes principales”, el cual tuvo como objetivo examinar los efectos de un protocolo de fatiga a corto

plazo de agilidad funcional (FAST-FP) sobre la función neuromuscular. En este participaron 28 estudiantes de deportes saludables quienes completaron el FAST-FP, que consta de cuatro componentes: tres saltos de contra-movimiento (90% del máximo individual), una serie de incrementos de 20 s, tres sentadillas de peso corporal y una carrera de agilidad. Las tareas se repitieron hasta que los participantes ya no alcanzaron la altura de salto requerida en dos series consecutivas. Y otras variables de entrenamiento en las cuales se han empleado otros dispositivos (giróscopo, GPS, magnetómetro) para obtener datos más precisos (Brown et al., 2016). Factores como fuerza, potencia máxima y velocidad han sido objeto de estudio en muchas investigaciones con fines de conocer estados actuales de estas (Fernández et al., 2012; Buceta et al., 2014) y en otros estudios utilizan las mismas variables para determinar la confiabilidad de estos instrumentos de medición (Gomez-Piriz et al., 2012).

3.3.2 Deportes individuales.

Pasando al campo de los deportes individuales, el análisis de los artículos nos arroja que el grupo de disciplinas deportivas en las que se tiene evidencia de medición con este tipo de dispositivos son: Atletismo, ciclismo, natación carreras y canoa o kayak. Donde las principales variables de medición fueron la velocidad de desplazamiento y las aceleraciones.

Respecto a las mediciones en natación carreras, los dispositivos deben cumplir con la particularidad de ser Waterproof. En el estudio Callaway & Cobb (2009), realizaron una comparación de análisis correlativo del rendimiento en los recorridos, con videografía y un dispositivo de acelerometría triaxial, aspectos como la longitud de brazada, ángulos de recorridos, ángulos de las articulaciones, aceleraciones, velocidad de desplazamiento, fueron analizados en el estudio.

Una investigación más reciente realizada por (Ganzevles et al., 2017) examinaron la confiabilidad y utilidad de acelerómetros triaxiales en el monitoreo del tiempo de vuelta conteo y tasa de las brazadas en la natación, así pues, la investigación no solo utilizó el dispositivo de acelerometría

que fue colocada entre las escápulas para mayor comodidad del deportista, sino que también utilizaron 7 cámaras en diferentes ángulos sincronizadas con el acelerómetro.

En el atletismo esta herramienta ha sido gran foco de estudio por la facilidad de uso y colocación del dispositivo inercial en diferentes partes del cuerpo de cada sujeto, además de la validez y fiabilidad que presentan algunos autores como Carmona, (2017) que realizó un estudio pre experimental donde quiso comprobar la fiabilidad y validez de dispositivos de acelerometría, analizando variables como velocidad, aceleración y carga neuromuscular en una superficie de tapiz rodante y la otra en pista para correlacionar los resultados. Por otra parte, en otro estudio muy similar realizado por Raper et al., (2017) utilizaron un acelerómetro colocado en la tibia de 10 triatletas, su objetivo fue determinar la validez y confiabilidad del dispositivo comparándolo con placas de fuerza, midiendo aspectos como aceleración, velocidad constante, desaceleración, fuerza, fuerza de impulso y de frenado.

Por otro lado, Pérez et al (2015) utilizó un acelerómetro triaxial en kayakistas para determinar la evolución de las variables dinámicas y cinemáticas a lo largo de una prueba de 200 mts en aguas tranquilas, en este estudio, el acelerómetro fue ubicado en el bote, variables como fuerza, frecuencia de paleo, velocidad y aceleración fueron evaluados en la prueba.

En el ciclismo la acelerometría se ha utilizado para medir variables como: aceleración, velocidad máxima, velocidad de ciclo (ciclo de pedaleo), pero algo a resaltar en el estudio realizado por (Ferreira, 2014) donde no solo analizo las variables mencionadas anteriormente, sino también aspectos biomecánicos del deportista en tiempo real.

3.3.3 Deportes de conjunto.

Siguiendo esta línea, en los deportes de conjunto las investigaciones se han inclinado hacia la medición de variables de cargas competitivas internas, externas, entre otras. Los deportes incluidos dentro de esta agrupación son: balonmano, baloncesto, fútbol sala, fútbol y ultimate.

Para el balonmano, se han implementado dispositivos inerciales para el monitoreo de la carga competitiva en jugadores de competición en etapas finales. Las variables de medición fueron Frecuencia Cardíaca ($\geq 85\text{FCMax}$), Pasos, Saltos y Player Load (PL). Cabe destacar que se utilizaron otros dispositivos para la obtención de los resultados con una mayor precisión (Mancha et al., 2018). En otra investigación, se utilizó la acelerometría para medir el Pico máximo de aceleración en diferentes ejes Setuain, (2014).

En el campo del baloncesto, las variables de medición por medio de la acelerometría son las cargas externas en la aceleración y desaceleración en sesiones de entrenamiento (Sánchez et al., 2019). En otras investigaciones se centran en la cuantificación de la carga de trabajo en ejercicios de enfrentamientos en paridad Schelling & Torres, (2016).

En el futbol y futbol sala se miden variables de velocidad lineal y distancias totales en diferentes intensidades Casamichana et al., (2013); Rojas, (2018). También, se realizaron mediciones de perfil cinemático y fisiológico durante partidos de competición Giménez, (2015).

Para el caso del ultimate se utilizó un dispositivo de acelerometría para medir el lanzamiento y la trayectoria del vuelo del frisbee en ángulos de ataque con diferentes técnicas de tiro (Mesa et al., 2018)

4 Discusión

Los resultados anteriores apoyan las conclusiones de Mantilla (2017) respecto al uso del acelerómetro para temas fisioterapéuticos y rehabilitación, como lo muestra las investigaciones del uso del dispositivo en la L3 y L4 para la biomecánica del salto con o sin reconstrucción del LCA (Setuain et al., 2014), en la tibia para medir los impactos de rodilla (Gómez et al., 2015), en actividad física para el análisis de movimientos lesivos (Camacho, et al., 2015) y en la muñeca para el análisis de la posible relación entre el dolor de hombro y fatigabilidad en rotadores externos (Navarro, 2017).

Los análisis biomecánicos son un pilar fundamental en el estudio del movimiento corporal humano, con ayuda de estos análisis se pueden identificar alteraciones en el gesto motor, desempeño muscular, rango de movimiento, flexibilidad y función motora en deportistas de alto rendimiento. Con la realización de análisis biomecánicos precisos, se puede realizar una estandarización de poblaciones de deportistas para identificar posibles alteraciones que pueden estar relacionadas con lesiones musculares (Iván, 2019).

Se han reportado estudios que indican que los sistemas de captura del movimiento magnéticos proporcionan información cuantitativa de análisis biomecánicos comparables con los datos arrojados por otros sistemas de captura más costosos y voluminosos y no requieren de una preparación tediosa del área de estudio gracias a su portabilidad. Dentro de sus aplicaciones se encuentran los estudios clínicos y deportivos que involucren toma de datos bajo el agua. Esta tecnología permite mapear los campos magnéticos e identificar el mejor volumen para la prueba de adquisición experimental con una alta precisión (menor a 5°) (Mangia et al., 2017).

Por ejemplo, complementar cuestionario con podómetros o acelerómetros, ambos apropiados para situaciones de campo. De estos, los acelerómetros son dispositivos ampliamente utilizados y recomendados en investigación científica (Lozano & Garatachea, 2012).

5 Conclusiones

Partiendo de los resultados obtenidos por este ejercicio investigativo, se puede observar que los dispositivos de acelerometría, son muy utilizados como herramientas para cesar diferentes variables del entrenamiento deportivo, ya que poseen características muy propicias para este tipo de actividades de medición, como lo es una positiva fiabilidad (Gómez et al., 2020), reducción de costos, trabajo y tiempo en comparación con otras herramientas (Silva, Salazar, & Correi, 2006) y que es muy versátil respecto a su alcance de uso por parte de los entrenadores y deportistas, fruto

de su fácil utilización y mayor facilidad en campo propio de cada una de las disciplinas deportivas que existen en el entrenamiento deportivo. Es necesario, proponer que aún se requiere más investigación respecto a las ventajas y condiciones que presenta el uso de este tipo de dispositivos.

6. Referencias

- Aguilar Cordero, M. J., Sánchez López, A. M., Barrilao, Guisado, Rodriguez Blanco, R., Noack Segovia, J., & Pozo Cano, M. D. (2014). Descripción del acelerómetro como método para valorar la actividad física en los diferentes periodos de la vida: revisión sistemática. *Nutrición Hospitalaria*, 29(6), 1250-1261.
- Alfonso Mantilla, J, I. (2017). Usos de los acelerómetros en fisioterapia: una revisión de la literatura. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(3), 67 – 78 6(2), 38-45.
- Alfonso Mantilla, J, I. (2019). Herramientas Tecnológicas Para El Estudio E Intervención De La Biomecánica En El Deporte De Alto Rendimiento: Una Mirada Desde Fisioterapia. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 72 - 73.
- Ambrosi J. (2007). *Estudio de la utilidad de la acelerometría en la determinación de la actividad física y su aplicación en la obesidad*. (Tesis de grado) Fundación Mapfre, Universidad de Navarra, España.
- Anjos, Luiz Antonio dos, Silva, Bruna de Andrade Messias da, & Wahrlich, Vivian. (2019). Physical activity level and energy expenditure assessed by accelerometry in 60y+ brazilian subjects. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 25(2), 116-120.
- Arpinar-Avsar, P., & Soyulu, A. R. (2010). Consistency in acceleration patterns of football players with different skill levels. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(3), 382- 387.
- Avella, S. (2011). Proyecto" SWIMETRIX" *sistema de sensores y adquisición de datos para movimientos de (en) nadadores*. (Trabajo de grado) Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá D.C.
- Ávila Londoño, S., Vergara Ruiz, N. U., Carmona Montoya, J., Múnera Meneses, J. A., (2020). *Participación de los dispositivos de acelerometría en el entrenamiento deportivo*. (Trabajo de grado) Universidad de San Buenaventura, Facultad de Educación, Medellín.

- Ballesta, A. S., Abruñedo, J., & Caparrós, T. (2019). Acelerometría en baloncesto. Estudio de la carga externa durante los entrenamientos. *Apunts. Educación física y deportes*, 1(135), 100-117.
- Balsalobre-Fernández, C., del Campo-Vecino, J., González, C. M. T., & Curiel, D. A. (2012). Relación entre potencia máxima, fuerza máxima, salto vertical y sprint de 30 metros en atletas cuatrocientistas de alto rendimiento. *Apunts Educación Física y Deportes*, (108), 63-69.
- Barbado, D., Irlés-Vidal, B., Prat-Luri, A., Garcia-Vaquero, M. P., & Vera-Garcia, F. J. (2018). Training intensity quantification of core stability exercises based on a smartphone accelerometer. *PloS one*, 13(12), e0208262.
- Barbero, J., Vera, J., & Castagna, C. (2006). Cuantificación de la carga de fútbol: Análisis de un juego en Espacio Reducido. *Journal PubliCE Premium*.
- Barron, D. Atkins, S. Edmundson, C. & Fewtrell, D. (2014). Accelerometer derived load according to playing position in competitive youth soccer, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(3), 734-743.
- Brown N, Bichler S, Fiedler M & Alt W. (2016). Fatigue detection in strength training using three-dimensional accelerometry and principal component analysis. *Sports Biomechanics* 15(2), 139-150, DOI: 10.1080/14763141.2016.1159321.
- Buceta, H., Treus, S., Soidán, J. G., Giraldez, V. A., Cornes, X. A., & Cornes, A. (2014). Análisis dinámico en el remo de banco fijo: la trainera. *Retos. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (25), 120-123.
- Callaway, A. J., Cobb, J. E., & Jones, I. (2009). A Comparison of Video and Accelerometer Based Approaches Applied to Performance Monitoring in Swimming. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 4(1), 139–153.
- Camacho García, A.; Llinares Llopis, R.; Miro Borrás, J.; Bernabeu Soler, P. A. (2015). *Análisis de señales de acelerometría en Biomecánica*. (Trabajo de grados) Universitat Politècnica de Valencia. Departamento de Comunicaciones, Valencia.
- Casamichana, D., Castellano, J., & Dellal, A. (2013). Perfil cinemático en partidos amistosos de futbolistas semiprofesionales. *Journal of Sport & Health Research*, 5(3), 283-294.
- Castillo, A. B., Carmona, C. D. G., Reche, P., Gil, P. G., & Ortega, J. P. (2017). Valoración de la estabilidad del tronco mediante un dispositivo inercial. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (33), 199-203.

- Caussa Alonso, F. P. (2011). *Dispositivo Portátil de Adquisición de Variables Físicas y Fisiológicas para Ciclistas*. (Tesis). Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – UNC, Argentina.
- Dadashi, F., Crettenand, F., Millet, G. P., Seifert, L., Komar, J., & Aminian, K. (2013). Automatic front-crawl temporal phase detection using adaptive filtering of inertial signals. *Journal of sports sciences*, 31(11), 1251–1260.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2013.778420>.
- Davey, N, Anderson, M, James, D.A. (2008). Validation trial of an accelerometer-based platform for swimming. *Sports Technology*, 1, 202- 207.
- Davey, N. P. (2004). *Acquisition and analysis of aquatic stroke data from an accelerometer based system*. (Tesis maestría). Faculty of Engineering and Information Technology. Griffith University. Nathan, Australia.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Huot-Marchand, F., y Pelayo, P. (2005). Parámetros de caricias en la natación de arrastre frontal y la velocidad máxima de estado estable de lactato. *Revista Internacional de Medicina del Deporte*, 26(1), 53-58.
- Ganzevles, S., Vullings, R., Beek, P. J., Daanen, H., & Truijens, M. (2017). Using Tri-Axial Accelerometry in Daily Elite Swim Training Practice. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(5), 990.
- Giménez, J., & Pino, J. (2015). Estudio de un caso único de las demandas cinemáticas y fisiológicas de un jugador de fútbol de categoría cadete. *Revista de Preparación Física en el Fútbol*. Recuperado de <https://bit.ly/3i0Qc5g>
- Gómez, D., San Román, J., Paulis, J., & Calleja, J. (2012). Demandas físicas y fisiológicas en jugadores absolutos no profesionales durante partidos de fútbol 7: un estudio de caso. *Cultura Ciencia Deporte*, 7(20), 115-123.
- Gómez, N. A., Ripoll, E. M., Ortolá, R. M., Vírseda, M. A., Alcover, E. A., Gil, J. V. D., & Llavador, L. M. (2015). Césped natural “versus” césped híbrido. *Revista de biomecánica*, (62), 70-78.
- Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., González-Custodio, A., Olcina, G., & Pino-Ortega, J. (2020). 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*, 34(2), 365–373.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003106>.

- Gómez-Piriz, P.T.; Trigo, M.E.; Cabello, D.; Puga, E. (2012). Confiabilidad entre instrumentos (T-Force® y Myotest®) en la valoración de la fuerza. *RICYDE. Rev. Int. cienc. Deporte*. 27(8), 20-30. doi:10.5232/ricyde2012.02702.
- Hellard, P., Dekerle, J., Avalos, M., Caudal, N., Knopp, M. y Hausswirth, C. (2008). Medidas cinemáticas y variabilidad de la frecuencia de brazada en nadadores de élite de 200 m en las cuatro técnicas de natación: semifinalistas olímpicos de Atenas 2004 y semifinalistas del Campeonato Nacional de Francia 2004. *Revista de Ciencias del Deporte*, 26(1), 35-46.
- Iltis, Peter & Givens, M.W. (2000). Validation of the CALTRAC™ accelerometer during simulated multi-gear cycling at different work rates. *Journal of Exercise Physiology Online*. 3. 38-48.
- Izquierdo, M., Martínez-Ramírez, A., Larrión, J.L., Irujo-Espinosa, M., & Gómez, M. (2008). Valoración de la capacidad funcional en el ámbito domiciliario y en la clínica: Nuevas posibilidades de aplicación de la acelerometría para la valoración de la marcha, equilibrio y potencia muscular en personas mayores. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 31(2), 159-170.
- Krasnoff, J. B., Kohn, M. A., Choy, F. K., Doyle, J., Johansen, K., & Painter, P. L. (2008). Interunit and intraunit reliability of the RT3 triaxial accelerometer. *Journal of physical activity & health*, 5(4), 527–538. <https://doi.org/10.1123/jpah.5.4.527>.
- Lamoth, C., van Lummel, R., & Beek, P. (2009). Athletic skill level is reflected in body sway: a test case for accelometry in combination with stochastic dynamics. *Gait & posture*, 29(4), 546-551.
- Lattes ferreira, M. F. (2014). *Uso do acelerômetro para aquisição de variáveis biomecânicas do ciclismo de pista*. (Dissertação mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física, Campinas, SP.
- Lee, M., Lee, H., & Park, S. (2018). Accuracy of swimming wearable watches for estimating energy expenditure. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 30(1), 80-90.
- Mancha Triguero, D., Reina, M., Baquero, B., García Rubio, J. E Ibáñez, S. J. (2018). Análisis de carga competitiva en jugadores de balonmano de formación en función del resultado final. E-Balonmano.com: *Revista de Ciencias del Deporte*, 14(2), 99-108. ISSN 1885-7019.
- Mangia M, Cortesi S, Fantozzi A, Giovanardi D, Borra G, Gatta. (2017). “The Use of IMMUs in a Water Environment: Instrument Validation and Application of 3D Multi-Body Kinematic Analysis in Medicine and Sport”, *Sensors*, 17(4), 1-21.

- Mateu Sanz, J. (2015). *Caracterización de las técnicas de nado a través del análisis de la aceleración 3D*. (Trabajo de grados) Universitat Politècnica de Valencia. Departamento de Comunicaciones. Valencia.
- Mesa Restrepo, D., Jiménez Ramírez, D., & Restrepo Martínez, A. (2018). Análisis cinemático del lanzamiento de un frisbee mediante acelerómetros y análisis de imágenes digitales. *Revista politécnica*, 14(27), 9-19.
- Navarro, P, V. (2017). *Relación entre dolor de hombro y fatigabilidad de rotadores externos en nadadores competitivos: Estudio Transversal Analítico*. (Trabajo de grado en fisioterapia). Universidad de Cantabria. Cantabria.
- Nedergaard, N., Kersting, U., & Lake, M. (2014). Using accelerometry to quantify deceleration during a high-intensity soccer turning manoeuvre. *Journal of sports sciences*, 32(20), 1897-1905.
- Nordsborg, N., Espinosa, H., & Thiel, D. (2015). Front crawl swimming analysis using accelerometers: A preliminary comparison between pool and flume. *Procedia Engineering*, 112, 497-501.
- Nordsborg, N., Espinosa, H., & Thiel, D. (2014). Estimating energy expenditure during front crawl Swimming using accelerometers. *Procedia engineering*, 72, 132-137.
- Ohgi, Y., Ichikawa, H., & Miyaji, C. (2002). Microcomputer-based acceleration sensor device for swimming stroke monitoring. *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, 45(4), 960-966.
- Oviedo G, Sánchez J, Castro R, Calvo M, Sevilla J, Iglesias A, Guerra M (2013). Niveles de actividad física en población adolescente: estudio de caso. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (23), 43-47.
- Pelham, T. W., Robinson, M. G., & Holt, L. E. (2006). Assessing human movement with accelerometry. *Work*, 27(1), 21–28.
- Pérez-Treus, S., Lorenzo-Buceta, H., & García-Soidán, J. L. (2015). Evolución dinámica y cinemática sobre 200m en kayakistas senior de aguas tranquilas. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (27), 118-121.
- Pernek, I., Kurillo, G., Stiglic, G., & Bajcsy, R. (2015). Recognizing the intensity of strength training exercises with wearable sensors. *Journal of Biomedical Informatics*, 58, 145-155.
- Pinar, A & Soyulu, A. (2010). Consistency in acceleration patterns of football players with different skill levels. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(3), 382.

- Raper, D. P., Witchalls, J., Philips, E. J., Knight, E., Drew, M. K., & Waddington, G. (2017). Use of a tibial accelerometer to measure ground reaction force in running: a reliability and validity comparison with force plates. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(1), 84-88.
- Rojas-Inda, S. (2018). Análisis de carga interna y externa de futbolistas jóvenes en juegos reducidos. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*. 18(71), 463-477.
- Romero, T. (2009). Hacia una definición de Sedentarismo. *Revista Chilena de Cardiología*, 28(4), 409-413.
- Sampieri, R, Collado, C, Lucio, P, Valencia, S, & Torres, C. (1998). *Metodología de la Investigación* (Vol. 6). México, DF: Mcgraw-hill.
- Schelling, X., & Torres, L. (2016). Accelerometer load profiles for basketball-specific drills in elite players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(4), 585.
- Setuain, I., Millor, N., & Izquierdo, M. (2014). *Diferencias en el rendimiento y biomecánica del salto en jugadoras de balonmano femenino de élite con o sin reconstrucción previa del LCA*. Un estudio basado en sensores inerciales. (Trabajo de grado) centro de estudios e investigación de medicina del deporte. Departamento de matemáticas. Departamento de ciencias de la salud. Universidad pública de Navarra, Pamplona, España, 25(3). 150-156.
- Stamm, A., Thiel, D. V., Burkett, B., & James, D. A. (2011). Towards determining absolute velocity of freestyle swimming using 3-axis accelerometers. *Procedia Engineering*, 13, 120-125.
- Vargas, M., Guerrero, J., Mendieta, R., & Oyarce, M. (2015). *Rendimiento postural mediante acelerometría en jugadores universitarios de fútbol sala*. (Trabajo de grado) Departamento de ciencias de la rehabilitación y el movimiento humano. Universidad de Antofagasta. Chile.
- Villa Navarro, P. (2017). *Relación entre dolor de hombro y fatigabilidad de rotadores externos en nadadores competitivos: Estudio Transversal Analítico*. (Trabajo de grado en fisioterapia) Escuelas Universitarias Gimbernat – Cantabria. Torrelavega, España.