

Selected Papers from Impact

Tecnología Portable para el Monitoreo de Entrenamiento: Aplicaciones, Desafíos y Oportunidades

Wearable Training-Monitoring Technology: Applications, Challenges, and Opportunities

Marco Cardinale¹ y Matthew C. Varley²

¹Departamento de Fisiología del Deporte, Academia Aspire, Doha, Qatar; University College London, Reino Unido; y Universidad de St Mark & St John, Reino Unido

²Varley se encuentra en el Departamento de Ciencia y Desempeño del Fútbol, Aspire Academy, Doha, Qatar, Institut of Sport, Exercise and Active Living, Victoria University, Melbourne, Australia

RESUMEN

La necesidad de cuantificar aspectos del entrenamiento para mejorar la prescripción de entrenamiento ha sido el santo grial de los científicos y entrenadores deportivos durante muchos años. Recientemente, se ha incrementado el interés científico, posiblemente debido a los avances tecnológicos y al desarrollo de mejores dispositivos para cuantificar las actividades de entrenamiento. En los últimos años se ha incrementado la cantidad de estudios que evalúan la carga de entrenamiento en varias cohortes atléticas con un sesgo hacia informes subjetivos y/o hacia las cuantificaciones de carga externa. Existe una evidente falta de estudios longitudinales extensos que empleen mediciones objetivas de la carga interna, posiblemente debido al costo y a la invasividad de las mediciones necesarias para cuantificar las cargas internas objetivas. Los avances en la tecnología podrían ayudar a desarrollar mejores herramientas portátiles que permitan aliviar las dificultades y los costos asociados con la realización de estudios observacionales longitudinales en cohortes de deportistas, y posiblemente puedan aportar una mejor información sobre las implicaciones biológicas de patrones específicos de carga externa. Teniendo en cuenta los desarrollos tecnológicos recientes para monitorear la carga de entrenamiento y el uso extensivo de diversas herramientas para la investigación y el trabajo aplicado, el objetivo de este trabajo fue revisar las aplicaciones, los desafíos y las oportunidades vinculadas a diferentes tecnologías portátiles.

Palabras Clave: carga interna, tecnología de entrenamiento, tecnología portátil, carga externa, GPS

ABSTRACT

The need to quantify aspects of training to improve training prescription has been the holy grail of sport scientists and coaches for many years. Recently, there has been an increase in scientific interest, possibly due to technological advancements and better equipment to quantify training activities. Over the last few years there has been an increase in the number of studies assessing training load in various athletic cohorts with a bias toward subjective reports and/or

quantifications of external load. There is an evident lack of extensive longitudinal studies employing objective internal-load measurements, possibly due to the cost-effectiveness and invasiveness of measures necessary to quantify objective internal loads. Advances in technology might help in developing better wearable tools able to ease the difficulties and costs associated with conducting longitudinal observational studies in athletic cohorts and possibly provide better information on the biological implications of specific external-load patterns. Considering the recent technological developments for monitoring training load and the extensive use of various tools for research and applied work, the aim of this work was to review applications, challenges, and opportunities of various wearable technologies

Keywords: internal load, training technology, wearable technology, external load, GPS

Recientemente el monitoreo de la carga de entrenamiento ha cobrado impulso en las ciencias deportivas, posiblemente debido a avances tecnológicos y al desarrollo de mejores equipos para cuantificar las actividades de entrenamiento (1). El motivo de tal interés reside en la necesidad de mejorar e individualizar el diseño de programas de entrenamiento y ejercicio para maximizar las mejoras en el rendimiento deportivo y evitar el sobreentrenamiento y el sobreentrenamiento a corto plazo. Desde que los humanos se embarcaron en deportes estructurados y actividad física las prescripciones de entrenamiento se han basado teóricamente en el concepto de sobrecarga progresiva. Los primeros ejemplos de prescripción de entrenamiento (2) aportaron indicaciones claras de que un enfoque científico del entrenamiento era importante no solo para identificar estrategias de progresión adecuadas (3), sino también para individualizar la dosis de entrenamiento y maximizar el rendimiento. Las actividades de entrenamiento y/o los programas de ejercicios están diseñados con el objetivo de producir estímulos capaces de desencadenar diversas respuestas fisiológicas que provoquen mejoras en la forma y función de varios sistemas biológicos.

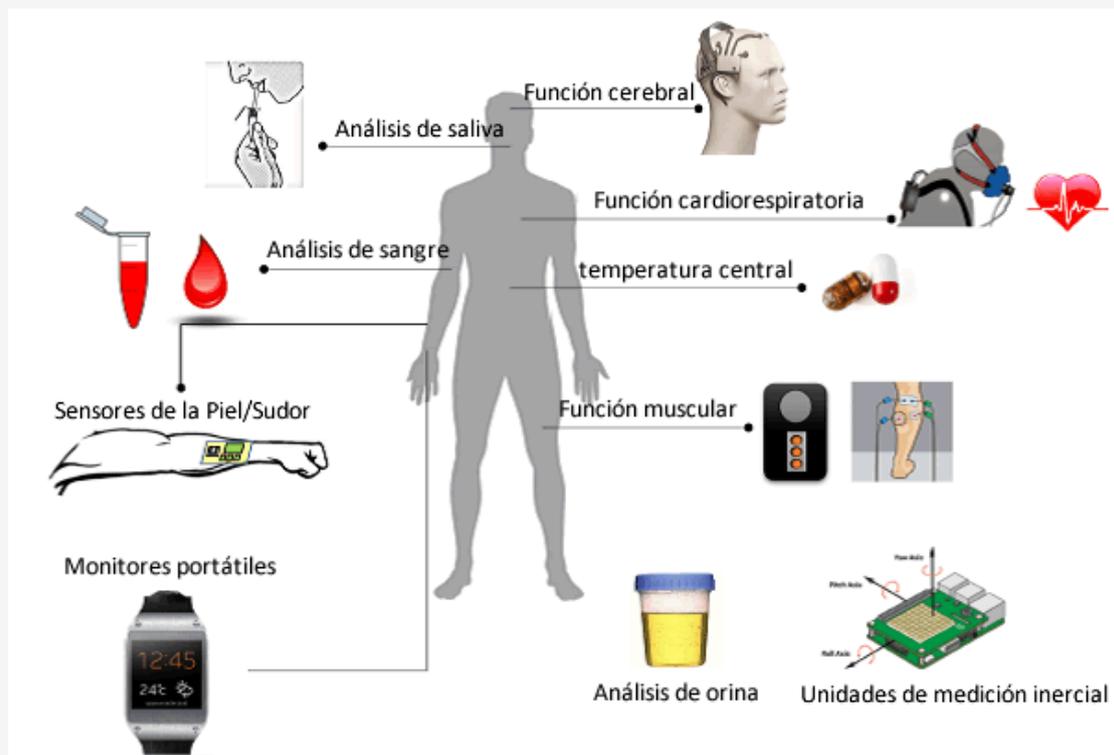
Las primeras investigaciones de Selye (4) sobre el estrés permitieron delinear el pensamiento de las metodologías modernas de prescripción de entrenamiento y ejercicio (5) y sentaron las bases para un enfoque sistemático para cuantificar y describir las respuestas de adaptación a diversos paradigmas de ejercicio y entrenamiento. Está ampliamente aceptado que las actividades de entrenamiento pueden alterar la homeostasis y afectar diversas estructuras fisiológicas en respuesta al "estrés" del entrenamiento para intentar recuperar la homeostasis. El resultado neto de un programa de entrenamiento progresivo bien diseñado es una mejora en la estructura y función de los sistemas fisiológicos diana, que permite lograr mejoras en el rendimiento humano. Sin embargo, el resultado de una progresión mal diseñada y/o inapropiada del entrenamiento puede provocar problemas de salud e inadaptación, (6) inmunosupresión, y alteraciones en el perfil hormonal (7) y, generalmente provoca una disminución en el rendimiento (8). La optimización del programa de entrenamiento consiste en manejar lo que el atleta realiza y cómo responde a las actividades de entrenamiento realizadas. Esto puede ser cuantificado por la carga de entrenamiento del atleta. Un marco propuesto por Impellizzeri et al. (9) diferenciaba entre aspectos internos y externos de la carga de entrenamiento. La carga interna hace referencia a los aspectos más fisiológicos, mientras que la carga externa representa las actividades (trabajo) realizadas por el atleta. La adaptación es la consecuencia de la carga de entrenamiento interna que está determinada principalmente por la carga de entrenamiento externa a la cual se expone el atleta (9).

En los últimos años, se han realizado numerosos estudios para mejorar nuestra comprensión sobre las implicaciones de diferentes paradigmas de carga de entrenamiento en varias cohortes de deportistas (1), sin embargo, a pesar de la creciente evidencia sobre la utilidad de monitorear las actividades de entrenamiento, todavía se puede percibir una cierta resistencia en algunas comunidades deportivas. Una revisión reciente indicó, que los motivos de la resistencia a implementar actividades de monitoreo sistemático del entrenamiento podrían estar vinculados a limitaciones financieras, limitaciones de personal, falta de conocimiento y/o experiencia en actividades específicas de monitoreo del entrenamiento, resistencia del cuerpo técnico y, sobre todo, a la falta de garantía de que las intervenciones de monitoreo del entrenamiento puedan mejorar la calidad de las prescripciones de entrenamiento. Una búsqueda reciente en PubMed (julio de 2016) identificó 488 documentos que contenían como palabras clave *monitoreo de la carga de entrenamiento*. Un análisis más preciso usando palabras clave asociadas con varios métodos de monitoreo de la carga de entrenamiento demostró que existe un sesgo de investigación hacia métodos de fácil acceso/bajo costo (como el RPE de la sesión y métodos similares) o con métodos históricos (carga de entrenamiento por lactato). En las investigaciones recientes predominan principalmente los estudios de carga externa gracias a la accesibilidad de los sistemas de medición inercial (IMU) que pueden ser utilizados por los atletas durante el entrenamiento y/o las competencias. Observamos la falta de estudios longitudinales que empleen mediciones de carga interna diferentes al RPE, posiblemente debido a relación costo-beneficio, o a la invasividad de las mediciones necesarias para cuantificar los aspectos de carga interna. Teniendo en cuenta los avances recientes en tecnologías portátiles para el monitoreo de la carga de entrenamiento y la amplia gama de herramientas disponibles comercialmente, es importante comprender los desafíos y oportunidades asociados con las diversas tecnologías. Por lo tanto, los objetivos de esta revisión son analizar las tecnologías y prácticas portátiles más utilizadas, proporcionar algunas indicaciones para nuevas tecnologías prometedoras y proporcionar pautas simples basadas en la evidencia.

Monitoreo de la carga interna

La carga interna experimentada por un atleta puede ser definida como la suma de la estimulación/estrés fisiológico y psicológico impuestos durante las actividades de entrenamiento (9). Toda forma de ejercicio/entrenamiento se caracteriza por demandas fisiológicas y psicológicas específicas que varían no solo con la "dosis" de la actividad (series, repeticiones, duración, etc.), si no que también con el tipo (por ejemplo, entrenamiento de fuerza vs entrenamiento deportivo específico) de entrenamiento realizado. Por tal motivo, no se puede cuantificar con una sola modalidad de evaluación, si no que se debe abordar de manera integral. Si bien esto es teóricamente sólido, una cuantificación exhaustiva de la carga de entrenamiento interno no es práctica debido a las limitaciones que presenta la tecnología actual. De hecho, una evaluación holística requeriría que los atletas usen múltiples dispositivos de monitoreo durante el entrenamiento, y además que sean sometidos a mediciones invasivas y subjetivas (ver Figura 1). La implementación de demasiados dispositivos/mediciones puede interferir con las actividades de entrenamiento del atleta y puede generar complicaciones con respecto a la recopilación de datos.

La capacidad de cuantificar la carga interna es de fundamental importancia ya que permite a los practicantes y entrenadores cuantificar las implicaciones de la carga externa y las prescripciones de entrenamiento en varios sistemas fisiológicos. También permite la personalización de actividades de entrenamiento, y la identificación de posibles riesgos para la salud y para una mala adaptación. Los datos deben ser analizados individualmente en cada atleta para establecer cambios significativos en los parámetros observados y sus implicaciones biológicas para proporcionar retroalimentación significativa con el cuerpo técnico



Cardiorespiratory Parameters	Humoral Parameters	Neuromuscular and muscle metabolism Parameters
Heart Rate: H,\$\$	Venous Blood: L,\$\$\$	Electromyography: M,\$\$\$
Heart Rate Variability: L,\$\$	Capillary Blood: M,\$\$	Electroencephalography: L,\$\$\$
Breathing related Parameters: L,\$\$	Sweat: L,\$\$\$	Galvanic Skin Response: M,\$\$
Oxygen Uptake and derived parameters: L,\$\$\$	Saliva: M,\$\$\$	Near Infrared Spectroscopy (NIRS): L,\$\$\$
	Urinary Markers: M,\$\$\$	Brain NIRS: L,\$\$\$
Parámetros cardiorrespiratorios	Parámetros humorales	Parámetros del metabolismo neuromuscular y muscular
Frecuencia cardíaca: H, \$\$	Sangre venosa. L,\$\$\$	Electromiografía: M,\$\$\$
Variabilidad de la frecuencia cardíaca: L, \$\$	Sangre capilar: M,\$\$	Electroencefalografía: L,\$\$\$
Parámetros asociados a la respiración: L, \$\$	Sudor: L, \$\$\$	Respuesta galvánica de la piel: M, \$\$
Consumo de oxígeno y parámetros asociados: L, \$\$\$	Saliva: M, \$\$\$	Espectroscopia infrarroja cercana (NIRS);L, \$\$\$
	Marcadores urinarios: M,\$\$\$	NIRS cerebral: L,\$\$\$

Practicidad: H= Elevada; M= Media; L= Baja; Costo: \$= Bajo; \$\$= Medio, \$\$\$=Alto

Figura 1. Diagrama de síntesis de las tecnologías utilizadas para monitorear la carga de entrenamiento interna.

Mediciones cardiovasculares y respiratorias

La cuantificación de las respuestas de la frecuencia cardíaca al entrenamiento es posiblemente el primer ejemplo de la cuantificación de la carga interna. Después de la invención del electrocardiograma a principios del siglo XX, (10) y desde la década de 1980, gracias al desarrollo de los monitores de frecuencia cardíaca para muñeca (HRM) que se comunicaban con bandas colocadas en el tórax (11) se pudo monitorear la frecuencia cardíaca durante el ejercicio. A lo largo de los años, se realizaron numerosos estudios para evaluar la validez y confiabilidad de estos dispositivos y la conclusión general fue que los HRM que utilizan electrodos en el torso pueden ser válidos y confiables durante tareas físicas y mentales demandantes (para una revisión, ver Achten y Jeukendrup 10). El uso de HRM favoreció el desarrollo de varios índices de carga de entrenamiento que cuantificaban la carga cardiovascular que experimentaban los atletas en el entrenamiento y en las competencias. La mayoría de los índices de carga de entrenamiento utilizados se basan en supuestos relacionados con la relación lineal identificada entre la frecuencia cardíaca y el VO₂ durante tests incrementales e identifican las zonas de intensidad y el tiempo transcurrido en cada zona expresado en forma de porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima y existen diversas posibilidades para cuantificar la carga de entrenamiento usando tales enfoques (12). Recientemente, nuevos desarrollos tecnológicos han presentado alternativas prometedoras frente a las bandas para el pecho. La fotoplethismografía para muñeca de bajo peso está ganando impulso, aunque con resultados mixtos con respecto a la precisión/validez (13, 14), y podría convertirse en una alternativa válida siempre que se implementen algoritmos específicos que permitan explicar los artefactos de movimiento a fin de reducir el error medio de detección debajo del 3% (15). Los textiles inteligentes también ofrecen soluciones prometedoras y los sensores textiles poseen alta precisión en diversas actividades (16, 17). Esto demuestra que pronto estarán disponibles más, y posiblemente mejores, opciones para evaluar los efectos del entrenamiento en los parámetros cardiorrespiratorios.

La espectroscopia infrarroja cercana (NIRS) es actualmente una tecnología ampliamente aceptada para evaluar la oxigenación muscular in vivo, y nuestras investigaciones previas (18, 19) junto con estudios realizados por otros autores (para acceder a una revisión de esta metodología ver Ferrari et al. 20) sugieren que esta tecnología podría ser exitosamente implementada en la mayoría de los deportes, incluidos los deportes acuáticos (21). Aunque el mercado parece estar mostrando un aumento en los dispositivos NIRS portátiles, hasta el momento solo unos pocos presentan alguna forma de validación. Los recientes desarrollos de miniaturización e inserción de dispositivos en prendas deportivas (22) sugieren que esta modalidad de cuantificación de la carga de entrenamiento interna no solo tiene mérito sino que también podría tener aplicaciones extendidas en un futuro cercano.

Parámetros Humorales

Se han realizado una gran cantidad de investigaciones para analizar diferentes marcadores bioquímicos, hormonales e inmunológicos que puedan permitir caracterizar las respuestas agudas y crónicas a diversos paradigmas de ejercicio y entrenamiento. Está más allá del alcance de este artículo realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre este tema; sin embargo, es importante señalar que representaría un enfoque reduccionista y peligroso identificar solo un marcador capaz de cuantificar algunos aspectos de la carga de entrenamiento interna. Revisiones recientes (17) han analizado diferentes enfoques y todos concluyen que se necesitan más investigaciones. Sin embargo, las limitaciones de la implementación de tales mediciones están vinculadas con la invasividad de las mismas, la relación costo-efectividad de determinar las respuestas humorales al entrenamiento y la dificultad de realizar algún monitoreo longitudinal significativo. Por esta razón, tenemos la esperanza de que con los próximos desarrollos tecnológicos estas mediciones sean más baratas, más accesibles y menos invasivas, y nos permitan una rápida retroalimentación; algo que podría ser un área de investigación y aplicación para arrojar más luz sobre las implicaciones que tienen los diferentes regímenes de entrenamiento en la adaptación. Los avances recientes en diferentes "ómicas" sugieren la posibilidad de recopilar más información sobre respuestas biológicas frente a actividades de ejercicios a partir de muestras de sangre, (23) sudor, (24) y/o muestras de orina relativamente pequeñas (25). Sin embargo, tales métodos todavía no son prácticos en el entorno aplicado debido al tipo de equipamiento de laboratorio y a la experiencia que se necesitan para procesar las muestras. La futura implementación de tales técnicas se hará realidad en el ámbito deportivo cuando estén disponible procesos analíticos simples y los equipos sean mas accesibles. Las soluciones portables también se están desarrollando a un ritmo muy rápido. La factibilidad de colocar en la piel humana dispositivos ultrafinos ha sido demostrada recientemente a través del trabajo pionero de unos pocos laboratorios (26, 27). Recientes trabajos de validación han observado resultados prometedores con sensores epidérmicos para la cuantificación de parámetros biológicos in vivo mientras se realiza actividad física (28), lo que sugiere que no sería exagerado imaginar un futuro de detección portátil capaz de mejorar nuestra comprensión de cómo reacciona el cuerpo frente a los diversos estímulos de ejercicio. En general, hasta que podamos contar con tecnologías y métodos más baratos y menos invasivos, nuestra comprensión de las respuestas biológicas al entrenamiento seguirá siendo limitada, y tendremos menos posibilidades de modificar las actividades cotidianas de los científicos y entrenadores deportivos. Por lo tanto, en este momento, los profesionales deben utilizar los marcadores bioquímicos de monitoreo de la carga de entrenamiento con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones, la variabilidad biológica e individual, y el hecho de que muchos de los parámetros que actualmente se cuantifican en el campo pueden verse afectados por muchas variables.

Parámetros neuromusculares

La evaluación de los parámetros neuromusculares de la carga de entrenamiento ha sido un tanto limitada por la tecnología disponible. Desarrollos recientes incluyen prendas deportivas con sensores electromiográficos integrados (EMG) capaces de cuantificar la actividad muscular durante el ejercicio (29). Además, las soluciones enfocadas en la piel (26) sugieren que la actividad muscular de los atletas están entrenando podría ser monitoreada de manera rutinaria y precisa. Recientemente se publicaron los datos de EMG de superficie de atletas y no atletas durante competencias (30) o entrenamientos, pero, según el conocimiento del autor, no existe un estudio longitudinal que presente evaluaciones de la carga interna usando esta técnica. Lo mismo ocurre con las mediciones electroencefalográficas y las respuestas galvánicas de la piel observadas durante el entrenamiento. Esto se debe principalmente al uso poco práctico de estas tecnologías en el entorno deportivo debido a los equipos voluminosos, y a los costos prohibitivos. Por esta razón, a pesar del hecho de que en muchas comunidades de entrenadores hay referencias comunes a la "carga neuromuscular", en la actualidad es prácticamente imposible cuantificar este aspecto. Sin embargo, es posible evaluar el efecto del entrenamiento de forma aguda y crónica mediante diversas pruebas donde se analice la función del sistema neuromuscular, como las mediciones dinámicas, el tiempo de reacción, las respuestas mediante electroencefalografía, saltos verticales y otras mediciones vinculadas a la función neuromuscular. De manera similar a lo que ocurre con los parámetros humorales, la tecnología en este campo está desarrollándose muy rápidamente, y tenemos ejemplos de mediciones EEG durante actividades deportivas estáticas como las de tiro (*shooting*)(31). Considerando el potencial del EEG para proporcionar más información sobre los efectos de las actividades de entrenamiento en el cerebro, (32) esperamos que se desarrollen mejores dispositivos portátiles y enfoques de señalización más precisos para poder cuantificar la carga neuromuscular en diferentes deportes.

Monitoreo de la carga externa

La carga de entrenamiento externa se puede definir como el trabajo realizado por el atleta, medido independientemente de sus características internas. Los parámetros asociados a la carga externa pueden incluir la duración, la velocidad, la distancia recorrida, la carga corporal, la aceleración, la potencia metabólica y los movimientos específicos del deporte, y también la cantidad de lanzamientos o los tackles realizados. La capacidad de cuantificar objetivamente la carga de entrenamiento externa es esencial para la supervisión del atleta ya que permite que los entrenadores puedan evaluar la efectividad de un programa o intervención de entrenamiento, minimizar el riesgo de lesión del atleta, diseñar programas de entrenamiento individuales que reflejen las demandas de la competencia (34) y permitir que el atleta pueda mantener y optimizar el rendimiento (35).

El monitoreo del atleta debe ser individual para identificar los cambios significativos en la carga externa. Por lo tanto, es importante conocer la precisión y confiabilidad de los dispositivos utilizados para medir la carga externa, ya que esto permitirá a los profesionales determinar la variación diaria del atleta en estos parámetros y determinar con confianza los cambios significativos en la carga.

Sistemas de posicionamiento global

En el deporte de élite, es frecuente el uso de tecnologías portátiles tales como los dispositivos de sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sensores inerciales como acelerómetros, magnetómetros y giroscopios, para controlar la carga externa de los atletas durante el entrenamiento y las competencias (35). Los dispositivos GPS miden la posición, velocidad y aceleración, y sus datos se procesan utilizando diversos algoritmos y filtros para proporcionar un rango de mediciones que pueden ser utilizadas para cuantificar la carga externa (36). Los acelerómetros se han utilizado para cuantificar el movimiento durante más de una década, y en la actualidad es posible encontrar acelerómetros en tecnologías tales como teléfonos inteligentes, dispositivos de ejercicio portátiles y sensores inerciales individuales. Los acelerómetros proporcionan una medida de aceleración que puede ser utilizada para estimar la carga externa total impuesta al cuerpo (37). Esto permite obtener un valor de la carga periférica muscular general más representativo que el de las mediciones basadas en velocidad y distancia porque incorpora la carga externa de colisiones, el impacto en el pie y otros movimientos que no se tienen en cuenta al usar el GPS. Casi todos los dispositivos GPS utilizados en el deporte contienen un acelerómetro triaxial. Los dispositivos también pueden contener un magnetómetro y/o giroscopio que mide la dirección y orientación y el movimiento angular respectivamente (38). Los datos de estos sensores adicionales pueden ser integrados para calcular patrones de movimiento avanzados y pueden ser utilizados para cuantificar la carga en los deportes que se realizan en el interior.

Medidas de distancia y velocidad

La distancia total es la medida de carga externa mas frecuentemente utilizada en la tecnología portátil. Esta medida se obtiene utilizando datos de GPS y puede ser calculada mediante diferenciación posicional o como la integral de la velocidad de cambio de frecuencia Doppler. Aunque no todos los fabricantes divulgan el método utilizado, dos prominentes fabricantes de GPS (Catapult Sports y GPSports) usan las diferencias de posicionamiento para calcular la distancia. A

menudo, la distancia recorrida se informa de acuerdo con umbrales de velocidad específicos y es común ver un umbral para carreras a baja velocidad, carreras de alta velocidad y sprints (6). El dispositivo GPS calcula la velocidad ya sea derivada del cambio en la distancia (determinada por la diferencia de posición) a lo largo del tiempo o utilizando el método de cambio de frecuencia Doppler. Dado que el cambio de frecuencia Doppler proporcionaría una mayor precisión y un menor error, (39) este método es comúnmente utilizado por los fabricantes. Los datos brutos de velocidad del GPS pueden ser procesados adicionalmente usando técnicas de filtrado (por ejemplo, filtros medianos o exponenciales), que variarán según el fabricante. Las diferentes técnicas de filtrado pueden cambiar sustancialmente la producción de velocidad y no son informadas por todos los fabricantes. Las mediciones de carga externa que surgen de los datos de distancia y velocidad incluyen la distancia recorrida dentro de los umbrales de velocidad específicos y/o la cantidad de esfuerzos discretos que se producen dentro de un umbral de velocidad específico (es decir, cantidad de sprints). A menudo los investigadores y profesionales se centran en la distancia total y la distancia recorrida a altas velocidades, porque se piensa que es el movimiento más exigente e importante que realiza el atleta. Sin embargo, la carrera a alta velocidad no debe ser interpretada como una actividad de alta intensidad ya que no es un reflejo completo de la carga externa impuesta al atleta (40). Dentro de las actividades de alta intensidad también se puede incluir saltos, aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección y tackles (41).

Aceleración

La aceleración plantea una exigencia energética más alta que el movimiento a velocidad constante (41, 42). Durante un sprint máximo de 5 segundos desde un arranque estático, el 50% del trabajo total se alcanza dentro de los primeros 1,5 segundos y una producción de potencia máxima 40% más alta que la producción de potencia promedio se obtiene después de solo ~ 0,5 segundos (42). Por lo tanto, cuando se parte de un arranque estático el trabajo más difícil probablemente se realice antes de que se alcance el umbral de sprint. Además, acelerar desde baja velocidad puede igualar o incluso exceder la producción de potencia necesaria para mantener una velocidad constante más alta (41). Por lo tanto, la aceleración no solo es una tarea metabólicamente exigente, sino que además no es necesario que ocurra a una velocidad alta para ser considerada desafiante. Esto sugiere que si la carga externa se cuantifica basándose solo en las medidas de distancia y velocidad, es probable que se subestime el verdadero trabajo de alta intensidad que realizan los atletas.

La aceleración se obtiene a partir de los datos de velocidad del GPS. Existen dos niveles principales de procesamiento de datos para calcular la aceleración. El primero es el intervalo de tiempo a partir del cual se obtiene la aceleración a partir de los datos de velocidad. El uso de un intervalo de tiempo más largo dará como resultado una aceleración promedio que tendrá un efecto de suavizado en los datos de aceleración. El segundo nivel de procesamiento aplica filtros de suavizado a los datos de aceleración ya calculados. Cualquier error en los datos de velocidad se amplía cuando se deriva la aceleración, por lo tanto, a menudo los datos de aceleración pueden ser filtrados sustancialmente. Al igual que con los datos de velocidad, las técnicas de filtro varían según el fabricante. Como los filtros de aceleración se aplican a la velocidad previamente filtrada, las diferencias de datos arrojados por las diferentes técnicas de filtrado pueden afectar sustancialmente las medidas de aceleración informadas. Esto se observó en análisis de datos del GPS procesados antes y después de una actualización de software donde se observó una reducción sustancial en el número de aceleraciones detectadas después de la actualización (43). Aunque no se informaron las técnicas de filtrado, es probable que los cambios en las técnicas de filtrado de datos hayan provocado estas diferencias. Normalmente, la cantidad de esfuerzos de aceleración o la distancia recorrida en umbrales de aceleración específicos se utilizan como medidas de carga externa. Sin embargo, es necesario ser cauteloso al interpretar estos datos dadas las limitaciones de la tecnología actual (44).

Mediciones obtenidas con acelerómetros

Los acelerómetros pueden proporcionar una medida de carga externa de la actividad física que puede superar las limitaciones que tienen las mediciones efectuadas con GPS. Esta medida cuantifica la carga total en el cuerpo, e indica el estrés total resultante de la aceleración, desaceleración, cambios de dirección, colisiones e impactos de los pies (35). Los fabricantes pueden tener ligeras variaciones en la forma en que calculan esta carga; sin embargo, generalmente consiste en la suma de la aceleración obtenida en los 3 planos de movimiento medidos utilizando un acelerómetro triaxial. Un ejemplo de esto son las mediciones de PlayerLoad utilizada por Catapult, que es la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de la tasa instantánea de cambio en la aceleración en los ejes x, y y z dividida por 100 (37). Debido a que estas medidas de carga se expresan en unidades arbitrarias, la confiabilidad se determina más fácilmente que la validez. Si bien las medidas de GPS dependen de la calidad de la señal satelital, estas medidas de carga se calculan exclusivamente a partir de datos del acelerómetro y, por lo tanto, pueden ser tomadas en interiores o en áreas con baja calidad de señal (por ejemplo, estadios techados o instalaciones con paredes altas). Las investigaciones que utilizaron las medidas PlayerLoad para cuantificar la carga externa durante el entrenamiento observaron que tiene una fuerte relación con la distancia total recorrida (45). Se sugirió que los entrenadores podrían usar las medidas PlayerLoad en reemplazo de las medidas de distancia total cuando no se puede contar con GPS (es decir, en interiores) (45). Los valores de carga externa del acelerómetro son de naturaleza individual; por lo tanto, al monitorear atletas, los entrenadores deben comparar los cambios que se producen en un mismo atleta y no entre atletas.

Validez y confiabilidad

Dado el número cada vez mayor de dispositivos portátiles disponibles para deportes, comprender su confiabilidad y validez es esencial para informar la práctica de entrenamiento. Las decisiones sobre el entrenamiento de los atletas pueden basarse en pequeñas fluctuaciones en la carga de entrenamiento; por lo tanto, la precisión es extremadamente importante para diferenciar entre cambio real y error de medición (47). Dado que rara vez se controla la validación del fabricante, es necesario realizar una validación externa de cada dispositivo y de las medidas del dispositivo para conocer el error y poder realizar suposiciones correctas con respecto a los cambios en las variables de carga. Una cantidad importante de estudios ha evaluado la validez y confiabilidad de la tecnología portátil para su uso en deportes. Esto ha sido ampliamente revisado en otras publicaciones (46) por lo que en esta sección se resumirán los hallazgos.

La validez de los dispositivos de GPS para medir distancia y velocidad mejoraría con frecuencias de muestreo más altas (44, 48). Las mejoras también pueden deberse a los avances en la tecnología del chipset y de los algoritmos de procesamiento de las señales. Independientemente de la frecuencia de muestreo, se ha demostrado que la precisión se reduce en velocidades más altas (48). Sin embargo, los estudios de validación a menudo han utilizado protocolos que implican carreras que comienzan desde un inicio estático cuando se evalúa la alta velocidad. En estudios que han aislado las fases de aceleración y de alta velocidad, la precisión del GPS se reduce a medida que aumenta la velocidad de aceleración (cambio en la velocidad) (44, 49). Por ejemplo, se observó que el GPS presenta un menor coeficiente de variación al medir la carrera en velocidades altas constantes (5-8 m/s) en comparación con bajas velocidades constantes (1-3 m/s), 3% versus 8%, respectivamente (44). De manera similar, se ha observado que la validez mejora en las pruebas de distancias más largas, donde en la fase de aceleración disminuye relativamente durante la prueba (50). Esto explicaría los mayores errores que se observan en los movimientos que requieren cambios rápidos de velocidad, como los movimientos de cambio de dirección y las acciones explosivas cortas. Como la distancia y la velocidad se calculan de forma independiente y están sujetas a filtrado, es importante que cada medida y la técnica de análisis asociada en los GPS sean validadas de forma adecuada. Por ejemplo, se ha demostrado que la velocidad calculada mediante desplazamiento Doppler arroja un mayor nivel de precisión y un menor error que la velocidad calculada a través de la diferencia de posición (39).

La confiabilidad del dispositivo de monitoreo es de primordial importancia cuando se monitorea la carga del atleta porque esto permitirá a los profesionales identificar cambios significativos en la carga externa. Las personas pueden responder de manera diferente a una carga de entrenamiento dada; por lo tanto, es importante implementar un enfoque individualizado para el monitoreo del atleta (1). Se ha observado que las frecuencias de muestreo más altas y las mejoras en la tecnología mejoran la confiabilidad de forma similar a la validez (44, 51). La confiabilidad intraunidad de la velocidad y distancia en cualquier velocidad dada es difícil de determinar precisamente porque requiere que los participantes realicen muchas pruebas con la misma velocidad. La confiabilidad entre las unidades también es difícil de calcular porque no está claro cómo el uso de varios dispositivos puede afectar la calidad de la señal del GPS y los resultados del acelerómetro pueden variar cuando se colocan en diferentes lugares. Si bien la confiabilidad entre las unidades parece haber mejorado, recomendamos que se utilice el mismo dispositivo en un atleta dado cuando se monitorea la carga de entrenamiento para minimizar la variabilidad intra-unidad (51).

La validación de las mediciones de los acelerómetros con el indicador Player Load es problemática ya que representa una unidad arbitraria; sin embargo, su confiabilidad fue evaluada en condiciones de laboratorio y de campo (37). Cuando se utilizó una máquina hidráulica de testeo universal para oscilar dispositivos en rangos de aceleración específicos, los dispositivos mostraron una fuerte confiabilidad intraunidad y entre las unidades (CV <1,10%) para el indicador Player Load (37). De manera similar en condiciones de campo (partido de fútbol australiano), los dispositivos arrojaron una fuerte confiabilidad entre unidades (CV=1,94%) para el indicador Player Load (37).

La validez y la confiabilidad de la tecnología portátil están mejorando con los avances tecnológicos. Como la investigación de validación a menudo se lleva a cabo externamente después del lanzamiento de la nueva tecnología, es probable que los entrenadores utilicen los dispositivos antes de que esta información esté disponible. Lamentablemente, se requiere validación con cada nueva versión o actualización del dispositivo, y después de cualquier cambio en el procesamiento de datos que pueda ocurrir después de las actualizaciones de firmware o software. La capacidad de monitorear a los atletas requiere identificar cambios dentro de las medidas de carga del atleta a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se recomienda a los profesionales que garanticen la consistencia en la recopilación, el procesamiento y el análisis de los datos en los casos en que sea posible. Por esta razón, los entrenadores deberían posponer las actualizaciones de dispositivos y sistemas hasta el final de la temporada. Si es posible procesar nuevamente datos retrospectivos, esto puede aportar datos comparables para cada nueva temporada. Esta consistencia mejorará la confiabilidad de las métricas de carga externa utilizadas para evaluar a los atletas.

Uso del monitoreo de carga en instalaciones deportivas

Muchas investigaciones sobre carga externa son descriptivas, detallan y comparan la carga externa en diferentes

circunstancias (por ejemplo, durante el entrenamiento y las competencias). El beneficio de estos estudios es que aportan métodos para cuantificar y analizar la carga externa; sin embargo, existe una capacidad limitada para generalizar o comparar resultados, ya que dependen del programa de entrenamiento y de los atletas/equipos que participan en la investigación.

Los profesionales tienen a su disposición una variedad de mediciones relacionadas a la carga externa para monitorear a los atletas. La manera en que estas mediciones pueden ayudar a los profesionales a optimizar su plan de entrenamiento puede variar con cada medición. La información sobre la carga corporal de un atleta puede proporcionar una representación holística del estrés al cual está sometido el atleta, sin embargo, es difícil diseñar ejercicios de entrenamiento específicos para medir este parámetro. Las mediciones de carga externa relacionadas con las distancias recorridas a velocidades específicas pueden ser más apropiadas, ya que proporcionan a los entrenadores parámetros de medición tangibles que pueden ser utilizados para planificar lo que los atletas realmente harán en el programa de entrenamiento. Del mismo modo, cuando se usa una carga externa para indicar fatiga, es poco probable que las mediciones basadas en la velocidad y la distancia representen por completo el estrés al que está sometido el cuerpo, por lo que también deberían incluirse las mediciones de aceleración y/o carga corporal. No es práctico sugerir que los profesionales utilicen todos los parámetros para cada componente del plan de entrenamiento y su decisión debe basarse en sus conocimientos sobre las mediciones y si se pueden utilizar de manera práctica para respaldar sus objetivos de entrenamiento.

Varios estudios han explorado la relación entre el entrenamiento y las lesiones (para una revisión, ver Drew et al. 52). Las mediciones de la carga externa a menudo se cuantifican como agudas (7 d) y crónicas (p. ej., últimas 4 semanas) y en forma de proporción entre éstas dos (33). La medición de carga real utilizada varía entre los estudios; pero la distancia total sería la más común. Las cargas externas altas y bajas están asociadas con riesgo de lesiones, y se sugiere que existiría un umbral de carga óptimo para atletas individuales (53). Podría ser que una carga externa baja haga que los atletas no estén preparados para las demandas del entrenamiento o de las competencias, mientras que las cargas crónicamente altas pueden imponer demasiado estrés en el cuerpo. Existe una teoría sólida de que en algunos deportes, la interacción entre la carga externa aguda y crónica podría ser la consideración más importante para el monitoreo del atleta y los picos de carga aguda se asocian con un mayor riesgo de sufrir lesiones (54). Independientemente del método utilizado, la carga externa debería ser monitoreada desde una perspectiva individual ya que hay muchos otros factores que pueden contribuir con el riesgo de lesiones (1, 52).

Resumen y conclusiones

A pesar del creciente interés por la cuantificación de la carga de entrenamiento, la investigación y la práctica estarían centradas principalmente en lo que es fácil de medir, y no en el desarrollo de un enfoque holístico para la cuantificación de las cargas de trabajo que experimentan los atletas, con referencia particular a las respuestas biológicas. Los hallazgos actuales sugieren que muchos parámetros de carga interna y externa se pueden medir utilizando tecnología portátil con relativa precisión y de manera confiable. Sin embargo, es importante destacar que muchos fabricantes no brindan información sobre la precisión, validez y confiabilidad de sus equipos ni dan acceso a los datos brutos para su posterior análisis. Por esta razón, no es posible realizar generalizaciones sobre la precisión y validez de ninguna tecnología o método, y las conclusiones de los estudios de investigación deben ser siempre específicas para las versiones de hardware y software empleadas y el contexto deportivo. Es posible que en el futuro surjan mejores soluciones portátiles donde se utilicen dispositivos electrónicos epidérmicos que sirvan de base para que las redes de sensores corporales evalúen las cargas de entrenamiento en actividades deportivas. Idealmente las unidades de medición inercial (IMU) se volverán más pequeñas con un mejor software, lo que facilitará el acceso a los científicos deportivos modernos y a los entrenadores a numerosos conjuntos de datos para tomar decisiones mejor informadas sobre la prescripción de entrenamiento y la recuperación. Sin embargo, tales cambios vertiginosos no vienen sin riesgos. La falta de garantía y estándares de calidad de los procesos de fabricación, y la falta de transparencia por parte de los fabricantes no garantizan que los datos recolectados sean precisos, válidos y confiables, por lo que siempre deberemos tener precaución con su interpretación. Además con más datos surge la necesidad de desarrollar bases de datos fáciles de usar, accesibles y bien diseñadas y sistemas de seguimiento de atletas que sean capaces de administrar y almacenar datos de forma segura. Además, dichos sistemas deberían poder generar informes rápidos y significativos, así como también permitir actividades de modelado de datos para mejorar el progreso de la toma de decisiones en el campo.

Recomendaciones finales y aplicaciones prácticas

- Los científicos y entrenadores deportivos deben conocer las limitaciones de cada dispositivo/método utilizado.
- Los estándares de la industria deben ser desarrollados para asegurar que la calidad de los datos generados por los dispositivos de medición sea lo suficientemente alta como para poder tomar decisiones futuras.
- Los estudios de investigación deben informar los detalles de las versiones de hardware y software utilizadas y limitar el significado de los hallazgos a las versiones utilizadas en las actividades de recopilación de datos.
- Se necesitan más estudios observacionales longitudinales que aporten a los entrenadores y científicos deportivos

parámetros de referencia con respecto a las cargas de entrenamiento internas y externas en diferentes cohortes de atletas.

- Aunque hay una amplia gama de sistemas de medición disponibles, los profesionales deben limitarse a utilizar aquellos que conocen y que pueden afectar su programa de entrenamiento.

REFERENCIAS

1. Halson S.L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med.* 44(Suppl 2):S139-S147. *PubMed* doi:10.1007/s40279-014-0253-z
2. Gardiner E.N. (1930). *Athletics of the Ancient World.* London, UK: Oxford University Press; 1930.
3. DeLorme T., Watkins A. (1951). *Progressive Resistance Exercise: Technic and Medical Application.* New York, NY: Appleton, Century and Crofts.
4. Selye H. (1936). A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature.* (138):32.
5. Szabo S., Tache Y., Somogyi A. (2012). The legacy of Hans Selye and the origins of stress research: a retrospective 75 years after his landmark brief "letter" to the editor# of Nature. *Stress.* 15(5):472-478.
6. Hackney A.C. (2013). Clinical management of immuno-suppression in athletes associated with exercise training: sports medicine considerations. *Acta Med. Iran.*;51(11):751-756. *PubMed*
7. Meeusen R., Duclos M., Foster C., et al. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45(1):186-205. *PubMed* doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a
8. Budgett R., Newsholme E., Lehmann M., et al. (2000). Redefining the overtraining syndrome as the unexplained underperformance syndrome. *Br. J. Sports Med.* 34(1):67-68. *PubMed* doi:10.1136/bjism.34.1.67
9. Impellizzeri F.M., Rampinini E., Marcora S.M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J. Sports Sci.*23(6):583-592. *PubMed* doi:10.1080/02640410400021278
10. Achten J., Jeukendrup A.E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.* 33(7):517-538. *PubMed* doi:10.2165/00007256-200333070-00004
11. Laukkanen R.M., Virtanen P.K. (1998). Heart rate monitors: state of the art. *J. Sports Sci.* 16(Suppl):S3-S7. *PubMed* doi:10.1080/026404198366920
12. Borresen J., Ian Lambert M. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Med.* 39(9):779- 795. *PubMed* doi:10.2165/11317780-000000000-00000
13. Parak J., Korhonen I. (2014). Evaluation of wearable consumer heart rate monitors based on photoplethysmography. *Conf. Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2014:3670-3673.* doi:10.1109/EMBC.2014.6944419
14. Wallen M.P., Gomersall S.R., Keating S.E., Wisløff U., Coombes J.S. (2016). Accuracy of heart rate watches: implications for weight management. *PLoS One.* 11(5):e0154420. *PubMed* doi:10.1371/journal.pone.0154420
15. Zhu S., Tan K., Zhang X., Liu Z., Liu B. (2015). MICROST: A mixed approach for heart rate monitoring during intensive physical exercise using wrist-type PPG signals. *Conf. Proc.. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2015:2347-2350.*
16. Abtahi F., Ji G., Lu K., Rödbj K., Seoane F. (2015). A knitted garment using intarsia technique for Heart rate variability biofeedback: evaluation of initial prototype. *Conf. Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2015:3121-3124.* doi:10.1109/EMBC.2015.7319053
17. Romagnoli M., Alis R., Guillen J., Basterra J., Villacastin J.P., Guillen S. (2014). A novel device based on smart textile to control heart's activity during exercise. *Australas. Phys. Eng. Sci. Med.* 37(2):377-384. *PubMed* doi:10.1007/s13246-014-0271-z
18. Hesford C.M., Laing S.J., Cardinale M., Cooper C.E. (2012). Asymmetry of quadriceps muscle oxygenation during elite short-track speed skating. *Med. Sci. Sports Exerc.*44(3):501-508. *PubMed* doi:10.1249/ MSS.0b013e31822f8942
19. Hesford C., Cardinale M., Laing S., Cooper C.E. (2013). NIRS measurements with elite speed skaters: comparison between the ice rink and the laboratory. *Adv. Exp. Med. Biol.*765:81-86. doi:10.1007/978-1-4614-4989-8_12.
20. Ferrari M., Muthalib M., Quaresima V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philos. Trans. R. Soc. A. Math. Phys. Eng. Sci.*369:4577-4590.
21. Jones B., Cooper C.E. (2016). Underwater near-infrared spectroscopy: muscle oxygen changes in the upper and lower extremities in club level swimmers and triathletes. *Adv. Exp. Med. Biol.*;876:35-40. *PubMed* doi:10.1007/978-1-4939-3023-4_4
22. Borges N.R., Driller M.W. (2016). Wearable lactate threshold predicting device is valid and reliable in runners. *J. Strength Cond. Res.* 30(8):2212-2218. *PubMed*
23. Pechlivanis A., Kostidis S., Saraslanidis .P, et al. (2013). 1H NMR study on the short- and long-term impact of two training programs of sprint running on the metabolic fingerprint of human serum. *J. Proteome Res.* 12(1):470-480. *PubMed* doi:10.1021/pr300846x
24. Hooton K., Han W., Li L. (2001). Comprehensive and quantitative profiling of the human sweat submetabolome using high-performance chemical isotope labeling LC-MS. *Anal. Chem.*;88(14):7378-7386. *PubMed* doi:10.1021/acs.analchem.6b01930
25. Daskalaki E., Blackburn G., Kalna G., Zhang T., Anthony N., Watson D.G. (2015). A study of the effects of exercise on the urinary metabolome using normalisation to individual metabolic output. *Metabolites.*5(1):119-139. *PubMed* doi:10.3390/metabo5010119
26. Kim D-H., Lu N., Ma R., et al. (2011). Epidermal electronics. *Science.* 333(6044):838-843.

27. Schwartz G., Tee BC-K., Mei J., et al. (2013). Flexible polymer transistors with high pressure sensitivity for application in electronic skin and health monitoring. *Nat Commun.* 4:1859. *PubMed* doi:10.1038/ncomms2832
28. Gao W., Emaminejad S., Nyein H.Y.Y., et al. (2016). Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis. *Nature.* 529(7587):509-514. *PubMed* doi:10.1038/nature16521
29. Finni T., Hu M., Kettunen P., Vilavuo T., Cheng S. (2007). Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Physiol Meas.* 28(11):1405-1419. *PubMed* doi:10.1088/0967-3334/28/11/007
30. Montini M., Felici F., Nicolò A., Sacchetti M., Bazzucchi I. (2017). Neuromuscular demand of a soccer match assessed by a continuous electromyographic recording. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 57(4):345-352. *PubMed*
31. di Fronso S., Robazza C., Filho E., Bortoli L., Comani S., Bertollo M. (2016). Neural markers of performance states in an Olympic athlete: an EEG case study in air-pistol shooting. *J. Sports Sci. Med.* 15(2):214-222. *PubMed*
32. Cheron G., Petit G., Cheron J., et al. (2016). Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance. *Front. Psychol.* 7:246. *PubMed* doi:10.3389/fpsyg.2016.00246
33. Hulin B.T., Gabbett T.J., Lawson D.W., Caputi P., Sampson J.A. (2016). The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *Br J Sports Med.* 50(4):231-236. *PubMed* doi:10.1136/bjsports-2015-094817
34. Varley M.C., Gabbett T., Aughey R.J. (2014). Activity profiles of professional soccer, rugby league and Australian football match play. *J. Sports Sci.* 32(20):1858-1866. *PubMed* doi:10.1080/02640414.2013.823227
35. Bartlett J.D., O'Connor F., Pitchford N., Torres-Ronda L., Robertson S.J. (2017). Relationships between internal and external training load in team-sport athletes: evidence for an individualized approach. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 12(2):230-234. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.2015-0791
36. Cummins C., Orr R., O'Connor H., West C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Med.* 43(10):1025-1042. *PubMed* doi:10.1007/s40279-013-0069-2
37. Boyd L.J., Ball K., Aughey R.J. (2011). The reliability of MiniMaxx accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 6(3):311-321. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.6.3.311
38. Gabbett T.J. (2013). Quantifying the physical demands of collision sports. *J. Strength Cond. Res.* 27(8):2319-2322. *PubMed* doi:10.1519/JSC.0b013e318277fd21
39. Townshend A.D., Worringham C.J., Stewart I.B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40(1):124-132. *PubMed* doi:10.1249/mss.0b013e3181590bc2
40. Abt G., Lovell R. (2009). The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *J. Sports Sci.* 27(9):893-898. *PubMed* doi:10.1080/02640410902998239
41. Osgnach C., Poser S., Bernardini R., Rinaldo R., di Prampero P.E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42(1):170-178. *PubMed* doi:10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd
42. di Prampero P.E., Fusi S., Sepulcri L., Morin J.B., Belli A., Antonutto G. (2005). Sprint running: a new energetic approach. *J. Exp. Biol.* 208(Pt 14):2809-2816. *PubMed* doi:10.1242/jeb.01700
43. Buchheit M., Al Haddad H., Simpson B.M., et al. (2014). Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9(3):442-445. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.2013-0187
44. Varley M.C., Fairweather I.H., Aughey R.J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J. Sports Sci.* 30(2):121-127. *PubMed* doi:10.1080/02640414.2011.627941
45. Polglaze T., Dawson B., Hiscock D.J., Peeling P. (2015). A comparative analysis of accelerometer and time-motion data in elite men's hockey training and competition. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10(4):446-451. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.2014-0233
46. Scott M.T., Scott T.J., Kelly V.G. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. *J. Strength Cond. Res.* 30(5):1470-1490. *PubMed* doi:10.1519/JSC.0000000000001221
47. Buchheit M. (2016). The numbers will love you back in return—I promise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 11(4):551-554. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.2016-0214
48. Rampinini E., Alberti G., Fiorenza M., et al. (2015). Accuracy of GPS devices for measuring high-intensity running in field-based team sports. *Int. J. Sports Med.* 36(1):49-53. *PubMed*
49. Akenhead R., French D., Thompson K.G., Hayes P.R. (2014). The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *J. Sci. Med. Sport.* 17(5):562-566. *PubMed* doi:10.1016/j.jsams.2013.08.005
50. Jennings D., Cormack S., Coutts A.J., Boyd L., Aughey R.J. (2010). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5(3):328-341. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.5.3.328
51. Jennings D., Cormack S., Coutts A.J., Boyd L.J., Aughey R.J. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5(4):565-569. *PubMed* doi:10.1123/ijsp.5.4.565
52. Drew M.K., Finch C.F. (2016). The relationship between training load and injury, illness and soreness: a systematic and literature review. *Sports Med.* 46(6):861-883. *PubMed* doi:10.1007/s40279-015-0459-8
53. Colby M.J., Dawson B., Heasman J., Rogalski B., Gabbett T.J. (2014). Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *J. Strength Cond. Res.* 28(8):2244-2252 doi:10.1519/JSC.0000000000000362. *PubMed*
54. Gabbett T.J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br. J. Sports Med.* 50(5):273-280. *PubMed* doi:10.1136/bjsports-2015-095788

Cita Original

Cardinale M, Varley MC. Wearable Training-Monitoring Technology: Applications, Challenges, and Opportunities. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 2017 Apr;12 (Suppl 2): S255-S262. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0423. PMID: 27834559.