

Estimación de la actividad física en población general: métodos instrumentales y nuevas tecnologías

Raquel Aparicio-Ugarriza^{1,3}, Susana Aznar², Juan Mielgo-Ayuso^{1,3}, Pedro J. Benito^{3,4},
Raquel Pedrero-Chamizo^{1,3}, Ignacio Ara⁵, Marcela González-Gross^{1,3,6}

¹ImFINE Research Group. Universidad Politécnica de Madrid. ²PAFS Research Group. Universidad de Castilla La Mancha. ³Department of Health and Human Performance. Faculty of Physical Activity and Sport Science-INEF. Universidad Politécnica de Madrid. ⁴EFISAF Research Group. Universidad Politécnica de Madrid. España. ⁵GENUD Toledo Research Group. Universidad de Castilla La Mancha. España. ⁶CIBERobn CB 12/03/30038. Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición. España.

Resumen

La cuantificación de la actividad Física (AF) es tan importante como compleja. Compleja porque es un comportamiento humano, e importante porque la relación de la actividad física y la salud depende en gran medida de la precisión de la medición de la misma. La medición objetiva del movimiento humano y la cuantificación del gasto energético debido a la actividad física es una necesidad identificada tanto en la investigación como en la clínica. Los métodos de referencia validados y bien definidos (el agua doblemente marcada, la calorimetría directa, la calorimetría indirecta) son caros y prácticamente se limitan a la investigación en el laboratorio. Por lo tanto, en los últimos años, se han desarrollado diferentes dispositivos de medición objetiva que son apropiados para los estudios de campo y clínicos. No hay ningún método de referencia ("gold standard") entre ellos, ya que todos tienen sus limitaciones. Los podómetros son ligeros, poco costosos, cuentan los pasos y aportan información sobre la actividad física total, pero no sobre el comportamiento y los patrones de actividad física. Los acelerómetros son más caros, aportan información sobre patrón, frecuencia, duración e intensidad de la actividad física, pero no sobre el tipo de actividad física. Los podómetros y acelerómetros únicamente recogen información sobre el movimiento del movimiento corporal, pero la validez en la estimación del gasto energético es limitada. La monitorización de la frecuencia cardíaca relaciona intensidad del ejercicio con gasto de energía, pero no aporta información sobre otras dimensiones de la actividad física. Los dispositivos GPS son portátiles, relativamente asequibles, no invasivos y recogen distancia, velocidad y perfil con hora y lugar exactos, pero quizás estén limitados para la evaluación de movimientos cortos a alta intensidad y elevado gasto energético. Los dispositivos de última generación combinan acelerometría con la medición de variables fisiológicas, comparten las ventajas de los dispositivos individuales y son más precisos. Para el cálculo del gasto energético se aplican algoritmos específicos de la actividad incluidos en el software del fabricante que pueden afectar a los resultados. La mayoría de los dispositivos estiman con mayor precisión el gasto energético a intensidades ligeras y moderadas, pero subestiman el gasto a intensidades muy ligeras y de intensidad extrema.

Palabras clave: *Actividad física. Gasto energético (GE). Acelerómetro. Podómetro. GPS.*

Correspondencia: Marcela González-Gross.
ImFINE Research Group.
Departamento de Salud y Rendimiento Humano.
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF.
Universidad Politécnica de Madrid.
C/ Martín Fierro 7.
28040 Madrid. España.
E-mail: marcela.gonzalez.gross@upm.es

PHYSICAL ACTIVITY ASSESSMENT IN THE GENERAL POPULATION; INSTRUMENTAL METHODS AND NEW TECHNOLOGIES

Abstract

Physical activity measurement is as important as complex. It is complex because it is a human behaviour and it is important because the relationship between physical activity and health depends mainly upon the accuracy of its measurement. The objective measurement of human movement and the quantification of energy expenditure due to physical activity is an identified need in both, research and the clinical setting. Validated and well-defined reference methods (double labelled water, direct calorimetry, indirect calorimetry) are expensive and mostly limited to the laboratory setting. Therefore, in the last years, several objective measurement devices have been developed which are appropriate for field studies and clinical settings. There is no gold standard among them, as all of them have their limitations. Pedometers are small, non-expensive, count the steps taken and give information on total physical activity, but not about physical activity patterns and behaviour. Accelerometers are expensive, record information about frequency, duration and intensity of physical activity, but not about type of physical activity. Both pedometers and accelerometers are not good at recording upper body movement, and the reliability about the estimation of energy expenditure is limited. Heart rate monitoring relates intensity to energy expenditure, but gives no information about any other dimension of physical activity. GPS watches are portable, relatively inexpensive, non-invasive and provide distance, speed, and profile with exact time and location, but are limited for the assessment of brief higher speed movement and energy expenditure. Combined motion sensors combine accelerometry with the measurement of physiological variables, and share advantages of single devices and are more precise. Manufacturer software, which applies activity-specific algorithms for the calculation of energy expenditure, can affect energy expenditure results. Most of the devices estimate energy expenditure more accurately at light to moderate intensities; underestimation increases at very light and extremely high intensity activities.

Key words: *Physical activity. Energy expenditure. Accelerometer. Pedometer. GPS.*

Marco referencial

La evidencia científica de las últimas décadas ha demostrado los beneficios de la actividad física (AF) para la salud y la prevención de la enfermedad¹. La actividad física reduce ambas, la mortalidad total y la morbilidad y además, minimiza los efectos fisiológicos de un estilo de vida sedentario aumentando la esperanza de vida activa². Por ello, es esencial proporcionar métodos válidos y fiables para medir la AF en estudios poblacionales y en el entorno clínico.

Desde que Lavoisier realizó su estudio en el que introdujo a un perro en una cámara metabólica al final del siglo XVIII, los científicos conocieron que la AF estaba asociada con un incremento del consumo de oxígeno, eliminación de dióxido de carbono y producción de calor, cuando se comparaba con la situación de reposo. Incluso hoy, los métodos relacionados con el metabolismo, como la calorimetría directa e indirecta y el agua doblemente marcada, se consideran como valores de referencia para medir el gasto energético (GE) y la AF, y han sido utilizados para validar otros métodos e instrumentos para medir la AF y el GE. El agua doblemente marcada se considera como el método de referencia para medir el GE de sujetos en situación libre³, es decir, situación no de laboratorio.

La actividad física es un comportamiento complejo, y seleccionar la herramienta adecuada para medirla es un reto sobre todo en población en situación libre. La falta de un método de referencia o "gold standard" en situaciones libres, junto con la ausencia de definición y concreción del término actividad física en muchos estudios, han contribuido a una gran confusión en este campo. La AF no es un comportamiento constante, la AF cambia día a día, semana a semana, año tras año y según la estación de año. Además la AF hace referencia tanto a comportamientos estructurados (i.e. AF planificadas, como jugar un partido de tenis o realizar una caminata por el campo) como no estructurados (i.e. AF cuya principal finalidad es otra que la de meramente realizar AF: transporte activo, subir más o menos escaleras, caminar o coger la bici para desplazarse durante el día, actividades domésticas, actividad laboral, etc.

Además, medir actividad física es complicado porque existen varias dimensiones de la actividad física: intensidad, volumen, frecuencia, tipo de actividad, gasto calórico, y cada instrumento puede medir unas u otras dimensiones. La frecuencia, se define como el número de sesiones o días por semana o mes, que una actividad se realiza. La duración, se refiere al tiempo (en minutos u horas) empleados en una AF concreta. La intensidad se refiere al nivel de esfuerzo requerido para realizar una AF concreta y por lo general se expresa en términos de equivalentes metabólicos (METs) que se definen como el ratio del coste de una actividad dividido por el coste del gasto metabólico de reposo; 1 MET es aproximadamente 1 Kcal por kilogramo de peso por hora (1 Kcal/hora)⁴. A veces la AF se presenta como el tiempo por semana y se puede calcular la intensidad estimada como MET-tiempo/semana. Esta variable se calcula multiplicando el valor del MET de cada actividad por la cantidad de tiempo empleado en realizarla durante, por ejemplo, una semana. La dimensión del gasto calórico, parece una dimensión más completa porque incluye en su cálculo datos de intensidad y duración de AF concreta a la vez.

Es necesario tener muy presente qué dimensión o dimensiones queremos medir en función del objetivo planteado, y elegir el instrumento de forma acorde. La tabla I presenta un ejemplo de la dimensión de la AF a medir, el instrumento a utilizar, relacionado con un propósito del estudio o estado de salud estudiado.

Interés

Desde que se empezó a incluir AF regular entre las recomendaciones mundiales relacionadas con la salud y la prevención de enfermedades no transmisibles, ha habido un creciente interés en la evaluación de la AF en una forma precisa. Ambos, investigadores y responsables políticos identificaron la necesidad de saber el número de sujetos que eran activos o no, con el fin de profundizar en los aspectos científicos y poner en marcha políticas de salud pública. El interés en la AF ha crecido también entre los expertos en nutrición, sobre todo con la

Tabla I		
Relación entre la dimensión de la AF, el instrumento de cuantificación de la AF empleado y el aspecto de salud relacionado		
Dimensión de la AF	Instrumento de medida empleado	Aspecto de salud relacionado
Gasto calórico	Calorimetría directa o indirecta, acelerómetros, cuestionarios, diarios, recuento últimos 7 días	Patologías metabólicas, cardiovasculares. Estudios de longevidad.
Tipo de actividad: Autocarga y fuerza	Diario de AF, observación, cuestionarios, diarios, recuento últimos 7 días	Osteoporosis, estudios de fragilidad
Intensidad	Monitor de la frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno	Enfermedades cardiovasculares
Tiempo	Cuestionarios, diarios, recuento últimos 7 días, acelerómetros	Cumplimiento de las recomendaciones de AF para la salud en población sana o con patología controlada.

dimensión de la AF del gasto calórico. A esta dimensión de la AF (gasto calórico), se le había prestado menos atención que al consumo de energía, en el análisis de la epidemia de la obesidad. El balance de energía (consumo versus gasto) está ganando importancia entre la comunidad científica⁵. Todo esto ha llevado a un avance en la investigación y desarrollo (I+D) de los dispositivos destinados a la cuantificación de AF objetivamente versus a los instrumentos de auto-informe de AF.

La finalidad de medir la actividad física en estudios epidemiológicos se ha centrado principalmente en: (i) determinar la asociación entre actividad física y el desarrollo de una enfermedad concreta, (ii) como parte de una estrategia de intervención para eliminar o mejorar la incidencia de una enfermedad o, factores de riesgo de la misma, a nivel individual y a nivel poblacional, y (iii) como una estrategia de salud pública para controlar la evolución de este comportamiento, es decir de la práctica de AF. Para todas estas finalidades, es muy importante que la medición de la AF se centre en la dimensión o dimensiones de la AF adecuadas.

Aspectos a considerar cuando se mide la AF

La toma de decisiones previa a elegir un instrumento u otro para medir la AF es importante y necesaria. Desde el punto de vista del investigador, se requiere valorar⁶: (i) el tiempo empleado en la administración del instrumento a la muestra, (ii) el coste necesario, (iii) que el método sea válido, es decir, que mida lo que queremos medir (i.e. dimensión adecuada), (iv) que sea fiable, es decir que tenga una buena capacidad de reproducibilidad, (v) que sea objetivo y (vi) que no sea reactivo. La reactividad se

refiere a que el instrumento modifique la conducta del sujeto por el mero hecho de saber que lo estamos midiendo. Para minimizar la reactividad, existen estrategias tales como: codificar el cuestionario y evitar trabajar con nombres, cuando se utilicen sensores del movimiento descartar la toma de datos del primer día, remarcar que los datos se tratarán de forma anónima y que en ningún momento se podrá identificar a un sujeto, etc. Desde el punto de vista del participante, es importante que sea cómodo y operativo. Por ejemplo, a población infantil y a las personas mayores les resulta poco operativo cumplimentar un cuestionario de forma autónoma, mientras que los sensores del movimiento son más adecuados.

La figura 1, presenta una relación de los diferentes instrumentos para medir AF en función de su precisión y practicidad⁶. Algunos instrumentos son muy precisos (calorimetría indirecta y directa) pero poco prácticos para medir a una muestra amplia y en situaciones de la vida real. En el otro extremo, se encuentran los cuestionarios, muy prácticos para muestras amplias pero con poca precisión. Los sensores del movimiento, podemos ver que son la opción más equilibrada entre practicidad y precisión.

Tipos de instrumentos para medir AF

Los instrumentos para cuantificar la AF pueden dividirse en: objetivos y subjetivos⁷. Los métodos subjetivos cuentan con la posibilidad de error humano en sobre o sub estimar la AF realizada. Los métodos objetivos no tienen ese problema, pero sin embargo, si pueden tener otros fallos mecánicos, como baja batería, interferencias con otras señales, etc.. Los métodos a su vez, pueden



Fig. 1.—Precisión versus practicidad de los diferentes instrumentos para medir AF. Adaptado de Rowland, 1996.

diferenciarse en si se centran en el GE, la AF y de variables fisiológicas.

Métodos objetivos para medir el GE: En este apartado se encuentran: (i) Medida directa del GE por AF, es decir, la calorimetría directa y (ii) la calorimetría indirecta.

La calorimetría directa es la medida de la producción de calor corporal y es el método más preciso para medir el gasto calórico. Este método requiere condiciones de laboratorio donde el individuo se coloca dentro de una cámara calorimétrica. Las mediciones se realizan después de un ayuno de 10-12 horas para poder medir también el gasto energético en reposo. Estas cámaras calorimétricas suelen ser pequeñas y por ello son poco prácticas para medir AF en situaciones libre. Además el elevado coste y las limitaciones técnicas hacen que este método sea poco práctico para medir el GE de la AF en estudios epidemiológicos⁸.

La calorimetría indirecta, en lugar de medir la producción de calor, se centra en la estimación del GE de la AF midiendo el ratio de ingesta de oxígeno y producción de dióxido de carbono de diferentes maneras, como por ejemplo con técnicas de análisis de gases en cámara metabólica y con análisis de isótopos estables en series de orina (agua doblemente marcada). Aunque principalmente son técnicas de laboratorio, existen modelos portátiles que se pueden utilizar en estudios de campo. Sin embargo, todos estos métodos aportan gran precisión principalmente para medir la dimensión del gasto calórico en reposo pero son costosos y no demasiado prácticos para estudios poblacionales³.

Métodos objetivos para medir AF: Una de las cualidades de estos métodos es que nos pueden proporcionar más dimensiones de la AF, son menos costosos que los métodos objetivos para medir el gasto energético GE por AF y nos pueden ayudar a captar tanto la AF estructurada como la no estructurada, puesto que ésta última es difícil de recordar y registrar con métodos subjetivos. Dentro de estos métodos se encuentran:

Observación directa: la observación directa se ha utilizado para estudiar el comportamiento humano en la situación real y por lo general ofrece información en momentos específicos del día. Estas técnicas se han complementado con grabaciones en video para un análisis posterior y con hojas codificadas para el registro de los datos de interés. No es un método muy adecuado para estudios epidemiológicos por el elevado tiempo requerido en la toma y posterior análisis de los datos.

Sensores del movimiento: estas medidas objetivas para cuantificar la AF, nos aportan, según el instrumento empleado, datos de la duración, intensidad y el patrón diario de la AF en personas de todas las edades, sin que afecte la capacidad de memoria, el origen étnico, la cultura o el nivel socioeconómico. Como consecuencia, las medidas objetivas pueden proporcionar un buen reflejo de los verdaderos niveles de actividad de las personas.

Los sensores más utilizados, son los acelerómetros, que ya cuentan con la opción incluida de podómetro (miden principalmente el número de pasos); y por otro lado están los podómetros.

Los podómetros

Un podómetro es un dispositivo que cuenta los pasos realizados. El recuento de los pasos es una manera simple de cuantificar la cantidad de AF. Éste debe ser colocado a la altura de la cadera, porque cuenta las veces que las piernas se mueven arriba y abajo durante la deambulación. Esta información se registra y se muestra como los pasos realizados al caminar o al correr. Los podómetros también han sido ampliamente utilizados en los últimos años y tienen una buena fiabilidad tanto en población infantil y adulta, y se pueden utilizar para establecer recomendaciones de AF.

Actualmente, existen recomendaciones fáciles de utilizar e interpretar de los pasos al día que debe realizar una persona para considerarse activa (al menos 6000 pasos/día), para prevenir problemas de obesidad (10.000 pasos/día), para perder peso (12.000 pasos/día)⁹ y para los niños y adolescentes se recomiendan al menos 9.000 pasos/día¹⁰. A diferencia de los acelerómetros, los podómetros no dan información sobre la intensidad, frecuencia y duración de AF. También, se ha observado una baja fiabilidad cuando los participantes: (i) caminan lentamente (velocidad inferior a 60 m/min), (ii) realizan movimientos con la parte superior del cuerpo, (iii) tienen elevado porcentaje de masa grasa, o (iv) realizan actividades con deslizamiento debido la material deportivo (como montar en bicicleta, patinar, esquiar). Los podómetros no son sumergibles, por ello no miden actividades tales como la natación, el buceo o waterpolo¹¹. Para la obtención de datos de GE, se debe elegir la fórmula adecuada incluyendo los datos de edad, altura, el peso, distancia recorrida y longitud de la zancada del participante.

Los acelerómetros

Los acelerómetros son los métodos más comúnmente utilizados para cuantificar objetivamente la AF y se han utilizado en todas las poblaciones^{12,13,14}. La aceleración se define como el cambio de la velocidad en el tiempo. Los acelerómetros cuantifican el movimiento durante un periodo de tiempo midiendo la frecuencia, duración y la intensidad de la AF, así como los patrones de AF. Durante la última década se ha producido un gran aumento en el número y en la variedad de monitores de actividad física comercialmente disponibles en el mercado. Los acelerómetros son razonablemente medidas fiables y válidas de AF. Su pequeño tamaño hace que sea un instrumento práctico y cómodo de llevar puesto.

Varias revisiones coinciden en que los acelerómetros pueden proporcionar un perfil amplio y comprensivo del comportamiento de la AF, donde se describen: (i) la cantidad total y la intensidad de la AF, (ii) el cuándo y cómo se acumula la AF, y (iii) cuando tienen lugar los periodos de inactividad^{11,15}. Sin embargo, no proporcionan información sobre el tipo de actividad y no pueden estimar si las personas están caminando con carga o sin ella, por

ejemplo: llevar bolsas de la compra. Por otra parte, la medición puede estar influida por la posición del acelerómetro colocado en el cuerpo (cintura, muñeca, tobillo). Otro inconveniente es que no capta el movimiento de la parte superior del cuerpo, y no es preciso en deportes donde exista deslizamiento (bicicleta, patinaje, esquiar, etc.). Además, el acelerómetro no es sumergible aunque si resistente al agua y se recomienda que se retire para nadar, tomar una ducha o el baño, etc. Por desgracia, el elevado precio de estos instrumentos limita su uso en la investigación con un tamaño grande de la muestra.

Los acelerómetros se pueden utilizar para calcular GE (mediante la introducción de tiempo, la frecuencia y la intensidad en fórmula específica). Los resultados parecen ser más precisos para las actividades ligeras y moderadas que para las actividades vigorosas. Los acelerómetros parece que subestiman el GE a intensidades elevadas debido a que existe una meseta alrededor de los diez METs¹⁶. Además, los acelerómetros parecen ser poco precisos para evaluar el GE durante caminatas con inclinación. Massel L y cols.¹⁷ sugirió que el procesamiento de datos del acelerómetro tiene un impacto significativo sobre el resultado dependiendo de los criterios empleadas en el análisis de los datos. Además, el análisis de los datos del acelerómetro puede llegar a ser complejo y por consecuencia puede consumir mucho tiempo.

En referencia a los tipos de acelerómetros, el acelerómetro triaxial registra la aceleración en varios planos. Como el movimiento humano es multidimensional, algunos autores¹⁸ sugieren que los acelerómetros triaxiales son mejores que en modelos uniaxiales y biaxiales. Si además de AF también queremos analizar el comportamiento sedentario y/o el sueño, el acelerómetro triaxial sería el más indicado, puesto que diferencia si el sujeto está sentado o acostado. Otro aspecto a tener en cuenta es el número de días que los participantes deben llevar puesto el acelerómetro para obtener una información válida y fiable de su AF. Lo más adecuado, es que el acelerómetro se lleve puesto durante siete días consecutivos, ya que los sujetos no siguen el mismo patrón de AF cada día. Otros autores sin embargo, indican que 5 días son suficientes¹⁹, incluyendo fin de semana.

Con el fin de analizar que el registro de AF es adecuado, y realizar un seguimiento, la mayoría de los autores están de acuerdo en que los sujetos deben rellenar una "hoja de incidencias" para anotarlas. Por ejemplo, quitarse el acelerómetro durante algunas actividades, en la ducha, etc. A nivel práctico se utilizan también las recomendaciones que varios estudios han llevado a cabo. Por ejemplo, el estudio HELENA¹³, un estudio representativo en el estado nutricional y el comportamiento AF, y el estudio EYHS²⁰, un estudio representativo en el comportamiento de AF y factores de riesgo cardiovascular, entre otros, llevado a cabo en niños y adolescentes europeos, se pidió a los sujetos que llevaran el acelerómetro puesto durante 7 días. Después de una cuidadosa revisión de los datos registrados, los datos de los sujetos que fueron considerados como válidos fueron aquellos en los que se cumplió el requisito de al menos 3 días

durante un mínimo de 8 horas consecutivas al día, siendo uno de estos días un día de fin de semana.

Otro aspecto importante es la selección de los puntos de corte para definir los minutos de AF ligera, moderada y vigorosa. Actualmente existen en la literatura científica muchos puntos de corte distintos para diferentes grupos de edad. En algunos casos, los puntos de corte elegidos han diferido de un estudio a otro con una población similar. Esta situación puede provocar controversia al comparar los resultados²¹.

Métodos objetivos basados en respuestas fisiológicas

Los monitores de ritmo cardíaco registran la respuesta de la frecuencia cardíaca a la intensidad de la AF. Este método tiene gran precisión para estima el GE de la AF a una intensidad de baja a moderada. Sin embargo, hay que tener presente que otros factores ajenos a la AF pueden alterar la FC²². La temperatura del cuerpo, la ingesta de alimentos, la postura del cuerpo, los medicamentos, el nivel de aptitud cardiorrespiratoria individual, la genética, pueden confundir estimaciones de AF y GE derivados a través de la monitorización del ritmo cardíaco⁵. Además, la capacidad de los monitores de ritmo cardíaco para estimar con precisión GE y evaluar los patrones de AF durante la baja intensidad y la actividad extremadamente alta intensidad ha sido cuestionada. La mayoría de los autores coinciden en que la combinación de acelerómetros con el monitor de la frecuencia cardíaca aumenta la precisión para la evaluación de AF²³.

Métodos subjetivos para medir AF

Estos instrumentos incluyen diferentes estrategias de auto-informe: el cuestionario, el recuento de los últimos días (3 ó 7) y el diario de actividad física. Todas ellas implican la posibilidad de medir a una muestra grande de participantes a la vez, pero con el inconveniente de depender de la memoria de los sujetos y de su honestidad.

Por lo general los auto-informes se ubican en el tiempo, es decir, un cuestionario general indica si las preguntas hacen referencia al mes pasado, año pasado, etc. Los diarios pretenden que el participante anote lo que hace cada día y el recuento de los últimos días es una opción intermedia (preguntan sobre días pasados recientes).

Los auto-informes pueden ser realizados por los entrevistadores (cara a cara o por teléfono) o por el sujeto él/ella misma, y se puede hacer de una manera prospectiva o retrospectiva. Pero hay consenso en la literatura que en la actualidad no hay ningún cuestionario que puede considerarse óptimo. Hay muchos cuestionarios sobre AF publicados en la literatura. Varias revisiones recientes^{11,24} concluyen que para los niños/as y adolescentes, los más fiables son PDPAR (Recuento de AF de un día previo) y 3DPAR (Recuento de AF de los últimos 3 días, pero incidiendo en el recuento del día anterior);

para los adultos IPAQ (cuestionario internacional de AF) y FPACQ (cuestionario informatizado Flamenco de AF en adultos); y para personas mayores, el cuestionario de Standford de AF habitual. Se puede concluir que los cuestionarios de AF deben adaptarse al grupo de edad que va a ser estudiada, además de los aspectos socioeconómicos, culturales y de otra índole que deben tenerse en cuenta, ya que puede sesgar la información. Otro aspecto muy importante es que en algunas ocasiones no se define el término AF a la hora de preguntar por su práctica. Esto puede ocasionar problemas de interpretación y por consiguiente error en los datos.

Limitaciones de los métodos objetivos para medir AF

A pesar de los beneficios potenciales de los sensores del movimiento modernos, éstos no están exentos de limitaciones. En concreto, estos sensores del movimiento tienen un elevado coste en comparación con los auto-informes, lo que significa que por lo general no son muy adecuados para grandes estudios poblacionales que requieran la compra de cientos de dispositivos. La aceptación y el compromiso por parte de los participantes son importantes para prevenir la mortalidad experimental y/o la pérdida parcial de datos. La mayoría de los dispositivos, como monitores de ritmo cardíaco, acelerómetros y podómetros deben utilizarse durante un periodo de tiempo y con instrucciones muy concretas para garantizar la recogida de datos fiables. Algunos participantes pueden percibir estos requisitos como una barrera/inconveniente¹¹ principalmente durante el tiempo de descanso o durante actividades específicas.

Las unidades de medida varían entre instrumentos de medición de AF, es decir, latidos por minuto, las cuentas ("counts"), el intercambio de gases, etc. Para convertir estos valores de la evaluación de AF en GE, es necesario utilizar varios algoritmos o ecuaciones. La variedad de dispositivos actualmente en el mercado y los diferentes algoritmos utilizados para calcular GE, convierte esta diversidad en una limitación. Algunos dispositivos incluso incluyen la posibilidad de utilizar diversas ecuaciones con los mismos datos registrados, y por lo tanto, los resultados pueden oscilar entre una u otra ecuación. Además, esta variabilidad limita la comparabilidad entre los resultados de diferente toma de datos.

La potencial manipulación y reactividad en la toma de datos no pueden ser excluidas. Una vez que se lleva el dispositivo, las personas podrían tener una tendencia a incrementar de forma consciente o inconsciente su actividad física o incluso pueden agitar el monitor, colocárselo a su perro, etc. Específicamente con el podómetro, los participantes tienen incluso la posibilidad de eliminar el número de pasos que se muestra en la pantalla de lectura del dispositivo presionando un botón de fácil identificación. Todos estos problemas pueden afectar a la fiabilidad de los datos.

Otra limitación identificada es que varios de los estudios de validación de los dispositivos examinados se han realizado sobre una muestra de conveniencia de los par-

ticipantes y/o con un tamaño de muestra relativamente pequeño²⁵.

Estado actual y perspectivas

Los métodos de cuantificación de AF y GE se pueden resumir en la tabla II donde se incluye una definición clara de cada instrumento de medida, sus objetivos, características, ventajas y desventajas.

A través de los años, las técnicas para el estudio del movimiento humano han mejorado en la complejidad y precisión. Las nuevas tecnologías como GPS, métodos de alta frecuencia y sensores de movimiento combinados dan una nueva perspectiva y deben tenerse en cuenta en la medición de AF o GE.

La tecnología GPS se ha utilizado en atletas para cuantificar el movimiento en el entrenamiento. Sin embargo, los relojes GPS comerciales pueden estar limitados para la medición de movimientos cortos a elevada velocidad. A pesar de ello, los relojes GPS son portátiles, relativamente baratos, no invasivos y proporcionan la distancia, la velocidad, el perfil (elevación y descenso) con la hora exacta y la ubicación. Actualmente, los monitores de ritmo cardíaco se utilizan para medir periodos cortos de tiempo, mientras que los GPS son muy útiles para las actividades donde hay grandes desplazamiento al aire libre o zonas amplias²⁶.

Una nueva generación de instrumentos que o bien combinan el uso de varios acelerómetros concurrentemente en los diferentes segmentos del cuerpo, o que combina la acelerometría con otras variables fisiológicas en un solo dispositivo, han contribuido a un progreso en el campo de la cuantificación de la AF.

Uno de estos nuevos dispositivos es el SenseWear Arm-band (SWA) (BodyMedia, Inc., Pittsburgh, PA). SWA, es un aparato extremadamente simple y de bajo coste, que proporciona mediciones muy precisas del GE en los seres humanos y en primates. Se lleva sujetado al brazo y combina cinco sensores diferentes. Los sensores recogen datos de la temperatura de la piel, la temperatura del cuerpo, flujo de calor, respuesta galvánica de la piel, y un acelerómetro biaxial. El acelerómetro biaxial registra el movimiento de la parte superior del brazo y proporciona información acerca de la posición del cuerpo. La información de los sensores, así como los datos de género, edad, altura y peso, se incorporan en algoritmos para estimar el GE. Estos algoritmos son específicos para cada actividad y se aplican automáticamente sobre la base del análisis del patrón de señales de los sensores. La SWA ha demostrado ser un instrumento válido para medir el GE en reposo y durante AF de baja a moderada intensidad en adultos²⁷ y niños/as²⁸ utilizando la calorimetría indirecta o el agua doblemente marcada como método de referencia.

El SWA no proporcionó estimaciones precisas de GE al medir actividades físicas de alta intensidad (por encima de diez MET o a una velocidad de 6 mph (161 m / min)) en adultos jóvenes. En otro estudio de validación realizado por Arvidsson y cols.¹¹ en una muestra de niños/as de 11 a 13

Tabla II
Revisión de los métodos para medir Actividad Física

	Métodos	Objetivo	Características	Ventajas	Desventajas
Métodos Objetivos	Acelerómetro	<ul style="list-style-type: none"> - Medida de la aceleración del cuerpo o segmentos del cuerpo en una o más direcciones. - Seguimiento de frecuencia, intensidad y duración de la actividad física. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relación entre movimiento y tiempo. - 3 tipos: uniaxial (movimiento vertical), biaxial and triaxial (diferentes planos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Un método objetivo para evaluar los niveles de actividad física. - Ampliamente validado. - Para una muestra de tamaño media. - Adecuado para su uso en todos los grupos de edad. - Muy cómodo para los participantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coste. - No aporta información sobre el tipo de actividad física
	Podómetro	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciona datos sobre la actividad ambulatoria totales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe poner en la cadera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Barato. - Valido para todos los grupos de edad. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se puede medir la intensidad, frecuencia y duración. - No se puede calcular el gasto de energía, se necesita una fórmula de extrapolación. - No hay información sobre el tipo de actividad física. - Ausencia de fiabilidad en diferentes situaciones, como en actividades sin impacto y el caminar lento.
Métodos Subjetivos	Auto-informe	<ul style="list-style-type: none"> - Para recolectar información proporcionada por los sujetos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos subjetivos de cuantificación de la actividad física. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los patrones de actividad se pueden identificar. - Poco costoso. - Se puede especificar el tipo de actividad realizada. - El tiempo, la frecuencia y la percepción del esfuerzo se pueden registrar. 	<ul style="list-style-type: none"> - No adecuado para niños y personas mayores. - Los datos pueden ser incompletos si el participante no completa el diario. - Los participantes pueden olvidar datos o mentir.
	Observación del comportamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Datos sobre el comportamiento de actividad física. 	<ul style="list-style-type: none"> - Información contextualizada. - El observador recopila la información. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los observadores pueden evaluar diferentes comportamientos. - Se puede grabar la toma de datos. - Dos investigadores pueden medir lo mismo al mismo tiempo para minimizar errores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costoso. - Se necesita entrenar al observador.

Tabla II (cont.)

Revisión de los métodos para medir Actividad Física

Métodos	Objetivo	Características	Ventajas	Desventajas
Agua doblemente marcada	<ul style="list-style-type: none"> Medidas totales del gasto de energía a través de la producción de CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> Bebidas marcadas para diferenciarla del agua metabólica. 	<ul style="list-style-type: none"> Apropiada para toda la población. Umbral de respuesta moderada. Válida estimación del gasto de energético. 	<ul style="list-style-type: none"> Caro. No puede proporcionar información sobre: frecuencia, duración e intensidad.
Calorimetría directa	<ul style="list-style-type: none"> Son medidas directas del gasto energético. 	<ul style="list-style-type: none"> Medidas totales del calor producido por el cuerpo en un espacio concreto de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> Exacto durante el tiempo para medir gasto energético. Válido y fiable para medir el gasto energético en reposo. 	<ul style="list-style-type: none"> Costoso. Lento. El equipamiento deportivo adicional añade más calor. El sudor crea errores en las medidas. No práctico ni preciso para medir ejercicio. No aporta información sobre metabolitos.
Calorimetría indirecta	<ul style="list-style-type: none"> Proporciona una estimación del gasto energético 	<ul style="list-style-type: none"> Medida objetiva. 	<ul style="list-style-type: none"> Medida válida y fiable del gasto energético. Estimación válida tanto en situación de laboratorio como de campo, en periodos cortos de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> Costoso. Difícil de utilizar durante un tiempo prolongado en situaciones libres (i.e. no de laboratorio).
Ritmo cardiaco	<ul style="list-style-type: none"> Medida directa del gasto energético. 	<ul style="list-style-type: none"> Estimación del gasto energético a través de monitorizar la frecuencia cardiaca. 	<ul style="list-style-type: none"> Información válida y fiable para medir la intensidad de la AF. Con la ayuda de software proporciona datos de duración y frecuencia. Adecuado para la mayoría de las poblaciones. Es resistente al agua. Relativamente barato, depende del modelo. Fácil de utilizar, descargar y analizar los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Solo mide actividades aeróbicas. Es necesaria su calibración. Puede verse afectado por: temperatura, contaminación, género, genética, composición corporal, metabolismo, edad, hora del día. La medicación que altere el ritmo cardiaco (bradicárdicos) alterará los resultados.
Variables Fisiológicas				

Tabla III
Nuevas tecnologías para cuantificar la actividad física

Métodos	Objetivo	Características	Ventajas	Desventajas	
Nuevas tecnologías en desarrollo	GPS	<ul style="list-style-type: none"> Proporciona datos objetivos acerca de la ubicación, extensión de la actividad, la velocidad y la carga de entrenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Proporcionar la distancia, la velocidad y la elevación con la hora y ubicación exactas. 	<ul style="list-style-type: none"> Información de frecuencia, intensidad y duración de la AF. Ritmo cardíaco (opcional). Distancia. Altitud. Se puede obtener información a tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> Costoso. Requiere personal cualificado. Algunos modelos resultan algo incómodos para llevar puesto varios días.
	Sensores de movimiento combinados	<ul style="list-style-type: none"> Para medir el gasto de energía y el movimiento del cuerpo (frecuencia, intensidad y duración). 	<ul style="list-style-type: none"> La combinación de la frecuencia cardíaca y el movimiento del cuerpo medido por acelerómetro. 	<ul style="list-style-type: none"> Medida directa (combina medida fisiológica de ritmo cardíaco y movimiento corporal, i.e. frecuencia, duración e intensidad). 	<ul style="list-style-type: none"> Costoso. El procesamiento de la información requiere más tiempo.

años, la SenseWear Pro2 subestimó el coste de energía de la mayoría de las actividades físicas realizadas y esta subestimación fue mayor a medida que aumentaba la intensidad de la actividad física. Estos resultados tienen implicaciones importantes para la correcta monitorización del GE diario o el GE específico de una AF concreta en humanos que realicen AF a elevada intensidad.

Un estudio reciente que comparó varios de los monitores de AF de última generación disponibles (SenseWear Pro3 Armband (SWA, v.6.1), el SenseWear Mini, el dispositivo Actiheart, ActiGraph y ActivPAL), destacó la dificultad para medir con precisión el GE durante AF de intensidad de ligera a moderada²⁸.

Por otro lado, los monitores de AF basados en acelerometría mostraron mayor error para la estimación del GE de las actividades físicas de baja intensidad, es decir, actividades de la vida diaria. Sólo el SenseWear Mini evaluó actividades de baja intensidad de una manera precisa. Los autores recomiendan que la investigación futura debería centrarse en la evaluación de las actividades de menor intensidad que utilicen las técnicas desarrolladas recientemente para mejorar las estimaciones de METs (es decir, la creación de redes neuronales artificiales y el modelo de Hidden Markov), realizando comparaciones directas a través de monitores de AF con varios sensores.

Danneker y cols.²⁹ analizó un monitor de AF colocado en el zapato, que incorporaba sensores de presión en la plantilla y un acelerómetro triaxial para clasificar las principales posturas / actividades físicas, y la estimación del GE. Al comparar estos datos con otros monitores AF (Actical, ActiGraph, IDEEA, DirectLife y Fitbit), el GE estimado utilizando el dispositivo basado en el zapato no fue significativamente diferente de GE medido. El IDEEA y las estimaciones del GE con DirectLife no fueron significativamente diferentes que el GE medido, pero el ActiGraph y los dispositivos de Fitbit subestimaron significativamente el GE. Los autores proponen que la estimación de GE basado en la clasificación de AF puede ser más exacta y precisa que la estimación de GE basado en la actividad física total.

Fitbit One (Fitbit Inc., San Francisco, CA), otra monitor de actividad novedoso, es un contador de pasos y monitor de la distancia recorrida. En su estudio de validación reciente, Tacaks y cols.³⁰ concluyeron que este tipo de dispositivos son válidos y fiables para medir el recuento de pasos a múltiples velocidades, pero que son poco precisos en la medición de la distancia recorrida. La colocación de la Fitbit One (ya sea en un bolsillo o en la cadera) no afectó a la precisión del recuento de pasos reportados. La variabilidad en la subestimación de GE para las diferentes actividades puede ser problemático para aplicaciones que se centren en la pérdida de peso.

Conclusiones

La medición objetiva del movimiento humano y la cuantificación del gasto de energía por actividad física es una necesidad identificada en la investigación y en la

práctica clínica. Los métodos válidos y de referencia son costosos y se limitan principalmente a situaciones de laboratorio. Ahora, existen nuevos instrumentos objetivos para medir la AF más apropiados para situaciones de campo y la práctica clínica, pero todos, todavía, tienen sus limitaciones. Los podómetros cuentan los pasos y aportan información sobre la AF total pero no identifican los patrones, el tipo o la intensidad de actividad. Los acelerómetros recogen información de la frecuencia, duración y la intensidad de la AF, pero no sobre el tipo de AF. Ambos podómetros y acelerómetros no recogen información de la movilidad de la parte superior del cuerpo, y la fiabilidad de la estimación del gasto de energía es limitada. Los monitores de la frecuencia cardíaca relacionan la intensidad con el GE, pero no proporcionan ninguna otra dimensión de la AF realizada. Los relojes GPS tienen la limitación de medir de forma poco precisa las AF cortas realizadas a una velocidad elevada y medir su GE. La combinación de diferentes sensores de movimiento tiene las mismas ventajas de los dispositivos individuales y son más precisos. Sin embargo, los diferentes algoritmos específicos de la actividad para el cálculo del GE, pueden afectar los resultados de GE. La mayoría de los dispositivos para estimar GE tienen mayor precisión para estimar la AF de baja a moderada intensidad. La subestimación del GE es mayor para actividades de intensidad, o bien muy baja, o extremadamente alta.

Referencias

- Foulds HJ, Bredin SS, Charlesworth SA, Ivey AC, Warburton DE. Exercise volume and intensity: a dose-response relationship with health benefits. *Eur J Appl Physiol* 2014; 114 (8): 1563-71.
- Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (7): 1510-30.
- Schoeller DA, Taylor PB, Shay K. Analytic requirements for the doubly labelled water method. *Obes Res* 1995; 3 (Suppl. 1):15-20.
- Taylor HL, Jacobs DR, Schucker B, Knudsen J, Leon AS, De Backer G. A questionnaire for the assessment of leisure time physical activities. *J Chronic Dis* 1978; 31: 741-4.
- Hill JO, Trowbridge FL. Childhood obesity: future directions and research priorities. *Pediatrics* 1998; 101 (3 Pt 2): 570-4.
- Rowland, TW. *Developmental Exercise Physiology*. Champaign: IL, Human Kinetics, 1996, pp. 73-96.
- Ruiz Tendero G, Salinero Martín JJ, Aznar S. Accelerometry-based actimetry as technology applied to health care. *Handbook of Research on Information Technology Management and Clinical Data Administration in Healthcare*. 2009; IGI Global, Reino Unido. pp. 838-51.
- Ara I, Casajús Mallén JA, Vicente-Rodríguez G. Valoración de la actividad física. En: Casajús Mallén JA, Vicente-Rodríguez G (coord). *Ejercicio físico y salud en poblaciones especiales*. Colección CSD, Imprenta Nacional del BOE. 2011, pp. 63-77.
- Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ, Clemes SA, De Cocker K, Giles-Corti B, Hatano Y, Inoue S, Matsudo SM, Mutrie N, Oppert JM, Rowe DA, Schmidt MD, Schofield GM, Spence JC, Teixeira PJ, Tully MA, Blair SN. How many steps/day are enough? For adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2011; 8: 79.
- Adams MA, Johnson WD, Tudor-Locke C. Step/day translation of the moderate-to-vigorous physical activity guideline for children and adolescents. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2013; 10: 49.
- Bates H. Daily physical activity for children and youth: a review and synthesis of the literature. 2006. Editorial????
- Aznar S, Naylor PJ, Silva P, Pérez M, Angulo T, Laguna M, Lara MT, López-Chicharro J. Patterns of physical activity in Spanish children: a descriptive pilot study. *Child Health Care and Development* 2011; 37 (3): 322-8.
- Ruiz JR, Ortega FB, Martínez-Gómez D, Labayan I, Mo-reño LA, De Bourdeaudhuij I, Manios Y, Gonzalez-Gross M, Mauro B, Molnar D, Widhalm K, Marcos A, Beghin L, Castillo MJ, Sjöström M; HELENA Study Group. Objectively measured physical activity and sedentary time in 41 European adolescents: the HELENA study. *Am J Epidemiol* 2011; 174 (2): 173-84.
- Arvidsson D, Slinde F, Larsson S, Hulthen L. Energy cost of physical activities in children: validation of SenseWear Arm-band. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39 (11): 2076-84.
- Calahorra F, Torres-Luque G, López-Fernández I, Santos-Lozano A, Garatachea N, Álvarez E. Actividad física y acelerometría; orientaciones metodológicas, recomendaciones y patrones. *Nutr Hosp* 2015; 31 (1): 115-28.
- Corder K, Brage S, Wareham NJ, Ekelund U. Comparison of PAEE from combined and separate heart rate and movement models in children. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37 (10): 1761-7.
- Masse LC, Fuemmeler BF, Anderson CB, Matthews CE, Trost SG, Catellier DJ et al. Accelerometer data reduction: a comparison of four reduction algorithms on select outcome variables. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37 (11 Suppl.): S544-54.
- Brage S, Brage N, Franks PW, Ekelund U, Wareham NJ. Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59 (4): 561-70.
- Murphy SL. Review of physical activity measurement using accelerometers in older adults: considerations for research design and conduct. *Prev Med* 2009; 48 (2): 108-14.
- Laguna M, Ruiz JR, Lara MT, Aznar S. Recommended levels of physical activity to avoid adiposity in children. EYHS. *International Journal of Pediatric Obesity* 2013; 8 (1): 62-9.
- Warren JM, Ekelund U, Besson H, Mezzani A, Geladas N, Vanhees L. Assessment of physical activity –a review of methodologies with reference to epidemiological research: a report of the exercise physiology section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2010; 17 (2): 127-39.
- Taylor HL, Jacobs DR, Jr., Schucker B, Knudsen J, Leon AS, Debacker G. A questionnaire for the assessment of leisure time physical activities. *J Chronic Dis* 1978; 31 (12): 741-55.
- Domene PA, Easton C. Combined triaxial accelerometry and heart rate telemetry for the physiological characterization of Latin dance in non-professional adults. *J Dance Med Sci* 2014; 18 (1): 29-36.
- Helmerhorst HJ, Brage S, Warren J, Besson H, Ekelund U. A systematic review of reliability and objective criterion-related validity of physical activity questionnaires. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2012; 9: 103.
- Dannecker KL, Sazonova NA, Melanson EL, Sazonov ES, Browning RC. A comparison of energy expenditure estimation of several physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45 (11): 2105-12.
- Hongu, N, Orr, BJ, Roe, DJ, Reed, RG, and Going, SB. Global positioning system watches for estimating energy expenditure. *J Strength Cond Res* 2013; 27 (11): 3216-20.
- St-Onge M, Mignault D, Allison DB et al. Evaluation of a portable device to measure daily energy expenditure in free-living adults. *Am J Clin Nutr* 2007; 85 (3): 742-9.
- Calabro M, Lee JM, Saint-Maurice PF, Yoo H, Welk GJ. Validity of physical activity monitors for assessing lower intensity activity in adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2014; 11 (1): 119.
- Dannecker KL, Sazonova NA, Melanson EL, Sazonov ES, Browning RC. A comparison of energy expenditure estimation of several physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45 (11): 2105-12.
- Takacs J, Pollock CL, Guenther JR, Bahar M, Napier C, Hunt MA. Validation of the Fitbit One activity monitor device during treadmill walking. *J Sci Med Sport* 2014; 17 (5): 496-500.