

**INVESTIGACIÓN**  
**INVESTIGACIÓN**  
2007  
**IN**



**ESTUDIO DE LA UTILIDAD DE LA ACELEROMETRÍA  
EN LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y  
SU APLICACIÓN EN EL DIAGNOSTICO Y  
TRATAMIENTO DE LA OBESIDAD**

**FUNDACIÓN MAPFRE**

[www.fundacionmapfre.com](http://www.fundacionmapfre.com)

## **Autor**

**Dr. Javier Gómez Ambrosi**

Doctor en Ciencias por la Universidad de Navarra  
Laboratorio de Investigación Metabólica  
Universidad de Navarra

## Índice

1. Introducción	4
2. Resultados	5
3. Conclusiones	12
4. Bibliografía	12

## 1. INTRODUCCIÓN

### La pandemia de la obesidad

La obesidad se ha convertido en este siglo en una de las principales causas de muerte y discapacidad, amenazando, por tanto, muchos de los logros sanitarios alcanzados durante las últimas décadas [1, 2]. A pesar de la alarma despertada, la pandemia sigue creciendo de forma imparable. Las últimas cifras de prevalencia obtenidas en los Estados Unidos ponen de manifiesto que prácticamente 2 tercios de americanos padecen sobrepeso (64,5%), 1 de cada 3 es obeso (30,5%) y casi un 5% (4,7% para ser exactos) son candidatos a tratamiento quirúrgico [3, 4]. Europa, en general, y España, en particular, siguen las mismas tendencias observadas en USA. En concreto, el 53,5% de la población española padece exceso de peso, situándose la prevalencia de obesidad en el 14,5% [5, 6].

### Obesidad y morbi-mortalidad

Tanto el sobrepeso como la obesidad se asocian a un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (ECV), hipertensión, diabetes mellitus tipo 2, dislipemias, accidentes cerebrovasculares, alteraciones osteoarticulares, síndrome de apneas obstructivas del sueño, desarrollo de determinados tipos de cáncer, al margen de alteraciones psicológicas y marginación social [7-11]. Esto se traduce en una disminución de la expectativa de vida asociada al exceso de peso, así como en una elevada mortalidad [12, 13].

### El tejido adiposo como fuente productora de factores de riesgo cardiovascular

En la actualidad, se considera al tejido adiposo como un órgano endocrino extraordinariamente activo. Tradicionalmente considerado como un mero almacén de energía en forma de triglicéridos, en los últimos años se ha puesto de manifiesto que el tejido adiposo blanco produce una gran variedad de moléculas con funciones pleiotrópicas, denominadas colectivamente adipokinas [14-16]. Estas moléculas modulan procesos fisiológicos tales como la regulación del apetito, el peso corporal, el crecimiento, la reproducción o la inmunidad, etc. Asimismo, de forma más reciente, se ha comprobado la relevancia del tejido adiposo en la producción y secreción de factores vasoactivos (IL-6, TNF- $\alpha$ , PAI-1, leptina, resistina, angiotensinógeno y adiponectina, entre otros), íntimamente relacionados con funciones cardiovasculares tales como la regulación de presión arterial, coagulación, fibrinólisis, inflamación, etc. [15, 17, 18]. Mención especial merece la relación entre obesidad e inflamación, observándose una inflamación crónica de bajo grado, evidenciada a nivel tisular por un aumento en la infiltración de macrófagos del tejido adiposo, que se traduce a nivel circulante en un aumento de factores proinflamatorios, como ácido siálico, SAA y MCP-1, entre otros [18-20]. Las concentraciones

plasmáticas de la mayor parte de estas adipokinas se encuentran aumentadas en pacientes obesos, a excepción de la adiponectina, que se ha postulado como un factor cardioprotector y, precisamente, presenta bajos niveles en personas obesas [15, 17, 18, 21, 22]. La realidad clínica de la relación entre adiposidad y factores de riesgo cardiovascular queda patente al observarse una disminución de los citados factores vasoactivos con la pérdida ponderal, excepto para la adiponectina, que aumenta a medida que baja el peso corporal [15].

### Relevancia del estudio de la composición corporal - el porcentaje de grasa corporal como principal “responsable” de la co-morbilidad

Por definición el sobrepeso y la obesidad corresponden a un exceso de grasa corporal. Sin embargo, la medida habitualmente empleada para el estudio y clasificación de estas enfermedades crónicas, el índice de masa corporal [IMC = peso (kg)/altura (m)<sup>2</sup>], se basa en la existencia de un exceso de peso con respecto a la talla. Aunque existe una buena correlación entre aumento de peso e incremento de la masa grasa, lo idóneo consistiría en medir directamente el porcentaje de grasa corporal y emplear este valor como elemento de clasificación [23, 24]. Uno de los métodos más precisos para la determinación del porcentaje de grasa corporal es la pletismografía de desplazamiento de aire o Bod-Pod<sup>®</sup>, cuya validez y precisión han sido equiparadas al método de referencia constituido por la hidrodensitometría [25, 26].

### Mantenimiento del balance energético – influencias de la actividad física

La obesidad resulta de la pérdida del equilibrio entre ingesta calórica y gasto energético, debido a un balance energético positivo prolongado en el tiempo [27]. El equilibrio en dicho proceso se ve afectado tanto por factores genéticos, neuroendocrinos, nutricionales, así como por factores ambientales y psicosociales [28-30]. Los principales factores ambientales dependen del estilo de vida actual. A la enorme disponibilidad de comida existente en los países desarrollados, se une la gran palatabilidad de los alimentos elaborados, así como un alto contenido en grasas y un elevado aporte calórico. Por otra parte, la sociedad actual se caracteriza por un predominio en el descenso de la actividad física con un marcado sedentarismo. Aunque la contribución genética debe ser muy tenida en cuenta, no cabe achacar a los factores genéticos la responsabilidad única de la explosión en la prevalencia de sobrepeso y obesidad, ya que la pandemia se ha producido en un periodo de tiempo relativamente corto, en el que es imposible que se produzcan cambios en el *pool* genético mundial [31]. En este contexto, resulta necesario tener presente que la alteración de cualquiera de los múltiples factores que intervienen en el mantenimiento del balance energético es capaz de afectar el fino equilibrio requerido para el control ponderal y conducir al desarrollo de obesidad. Así, la regulación en el tejido adiposo hacia

procesos lipogénicos o lipolíticos se encuentra sujeta al perfil de expresión de genes relacionados con el balance energético, siendo esta regulación reactiva a los cambios en la dieta y actividad física.

### Efecto de la actividad física sobre el porcentaje de grasa corporal y comorbilidad

Los cambios en los hábitos de vida constituyen los pilares del tratamiento de la obesidad [32]. Tanto la restricción calórica moderada, pero mantenida en el tiempo, como el incremento de la actividad física diaria, bien en actividades cotidianas como deportivas, conducen a la obtención de un balance energético negativo, que se traducirá en una pérdida ponderal. Sin embargo, la contribución de ambos elementos a los cambios en la composición corporal varía sustancialmente y se encuentra condicionada por la adherencia del paciente a las indicaciones recibidas. Así, por ejemplo, una dieta muy restrictiva sin aumento de la actividad física puede traducirse en una pérdida ponderal significativa, pero sin efecto beneficioso alguno sobre la disminución del porcentaje de grasa corporal. Por el contrario, el cumplimiento de un plan de actividad física puede conducir a un aumento del peso corporal a expensas de un aumento de la masa libre de grasa. La práctica de ejercicio físico inicia una serie coordinada de respuestas fisiológicas, que incluyen la activación del eje hipotálamo-hipófiso-adrenal y del sistema nervioso simpático, que –en combinación– conllevan una mejor selección y utilización de los sustratos metabólicos [33]. La naturaleza de esta estimulación varía en relación con la actividad (tipo aeróbico, intensidad, duración y fuerza), las características del sujeto (edad, sexo, entrenamiento previo, peso y composición corporal), así como el momento del día y la ingesta. Por tanto, resulta necesario, por una parte, complementar la información de peso corporal e IMC con estudios de composición corporal, así como cuantificar la actividad física de la forma más objetiva y precisa posible, preferiblemente, de forma directa. La importancia de la actividad física ha sido puesta de manifiesto en estudios epidemiológicos, donde se observa que la actividad física se asocia con una menor incidencia de enfermedad coronaria [34] y diabetes [35], y con una menor tasa de mortalidad [36]. Además, el aumento de la actividad física del individuo se traduce en una mejoría del control metabólico y de biomarcadores circulantes de riesgo CV e inflamatorios [37-39].

### Acelerometría

En la actualidad, los acelerómetros permiten registros continuos de varios días o una semana de las actividades del sujeto en su propio entorno, arrojando una información más ajustada a la realidad, que la obtenida únicamente mediante cuestionarios de actividad física [40, 41]. Los acelerómetros son dispositivos electrónicos que miden los movimientos corporales en términos de aceleración, información que puede ser usada para estimar la actividad física a lo largo del tiempo [42]. Un acelerómetro consiste

en un sensor piezoeléctrico que detecta aceleración en entre uno y tres planos y almacena la información, que posteriormente puede descargarse en un ordenador. La acelerometría proporciona información acerca de la frecuencia, intensidad y duración de la actividad física [43]. El presente proyecto pretende determinar la utilidad de la acelerometría en el diagnóstico y tratamiento de la obesidad. En concreto se utilizarán acelerómetros Actical® Physical Activity Monitor (Mini Mitter Co.-Respironics, Bend, OR, USA; www.minimitter.com), de los que ya se dispone en la Clínica Universitaria de Navarra. La elección de este modelo se ha realizado de acuerdo a las siguientes características y ventajas frente a otros existentes en el mercado. El acelerómetro Actical® es el más pequeño del mercado (28x27x10 mm), pesa 17 g y es resistente al agua, pudiéndose llevar al practicar natación u otros deportes acuáticos. El Actical® es un acelerómetro omnidireccional por lo que es sensible al movimiento en todos los planos. El Actical® registra movimientos en el rango de 0,5-3 Hz con una frecuencia de 32 veces por segundo (32 Hz). Puede llevarse en la cintura, muñeca o tobillo, por lo que, según donde se coloque, puede registrar actividad física relativa al tronco superior o al tronco inferior, pudiendo usarse tanto en adultos como en niños [41, 44, 45]. Con el objeto de analizar la precisión y fiabilidad de los acelerómetros en el contexto de la obesidad y su tratamiento se comparará la información obtenida con el Actical® con otros métodos de cuantificación de la actividad física: cuestionario de actividad física [46], podometría [47] y registro de la frecuencia cardíaca [48].

El presente proyecto plantea la hipótesis de que en aquellos sujetos, independientemente de su índice de masa corporal, en los que se evidencia un aumento en su actividad física (bien deportivo-recreativa, bien cotidiana) se pondrá de manifiesto un mayor efecto beneficioso sobre la composición corporal y el perfil metabólico y de factores de riesgo cardiovascular.

Para confirmar esta hipótesis nos planteamos el objetivo de determinar la utilidad de los acelerómetros en la cuantificación de la frecuencia y cantidad de actividad física en individuos obesos e individuos con normopeso de ambos sexos. Asimismo, quisimos comparar en individuos obesos y delgados la precisión y fiabilidad de los acelerómetros mediante la comparación con otros métodos de cuantificación de la actividad física: cuestionario de actividad física, podometría y registro de la frecuencia cardíaca. Por último, nos propusimos analizar en qué medida las diferencias en la cantidad de actividad física se traducen en diferencias en la composición corporal y en los factores determinantes de enfermedad cardiovascular y síndrome metabólico.

## 2. RESULTADOS

Se ha determinado mediante acelerometría la actividad física en 94 individuos: 46 con Normopeso, 17 con sobrepeso y 31 obesos, clasificados de acuerdo a su índice de masa corporal (IMC).

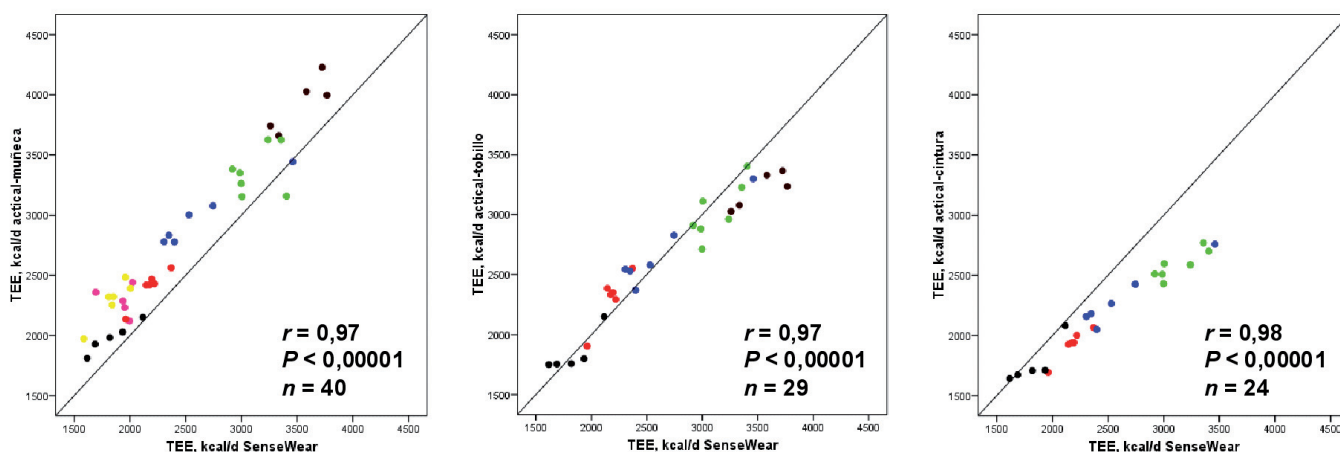
En primer lugar se realizó un análisis comparativo de la medida de la actividad física y el gasto energético mediante el acelerómetro Actical® (Actical® Physical Activity Monitor, Mini Mitter Co.-Respironics, Bend, OR, USA; www.minimitter.com) y el dispositivo SenseWear® ArmBand (BodyMedia Inc., Pittsburgh, PA, USA, en adelante SWA). El acelerómetro Actical® es el más pequeño del mercado (28x27x10 mm), pesa 17 g y es resistente al agua, pudiéndose llevar al practicar natación u otros deportes acuáticos. El Actical® es un acelerómetro omnidireccional por lo que es sensible al movimiento en todos los planos. El Actical® registra movimientos en el rango de 0,5-3 Hz con una frecuencia de 32 veces por segundo (32 Hz). Puede llevarse en la cintura, muñeca o tobillo, por lo que, según donde se coloque, puede registrar actividad física relativa al tronco superior o al tronco inferior, pudiendo usarse tanto en adultos como en niños. El monitor SWA es un equipo de análisis metabólico multi-sensorial que se coloca sobre el brazo permitiendo la cuantificación de la actividad física y el cálculo del gasto energético. El SWA dispone de diferentes sensores para medir la temperatura de la piel, la disipación térmica corporal, la respuesta galvánica de la piel, así como dos acelerómetros y un pulsómetro.

Se realizó un estudio comparativo del gasto energético total determinado mediante el Actical® colocado en distintas localizaciones y el SWA en 4-7 individuos (3 varones y 4 mujeres) obteniéndose un grado de correlación muy significativo ( $r = 0,97$ ,  $P < 0,00001$ ,  $r = 0,97$ ,  $P < 0,00001$ ,  $r = 0,98$ ,  $P < 0,00001$ , para la muñeca, tobillo y cintura, respectivamente) entre ambas determinacio-

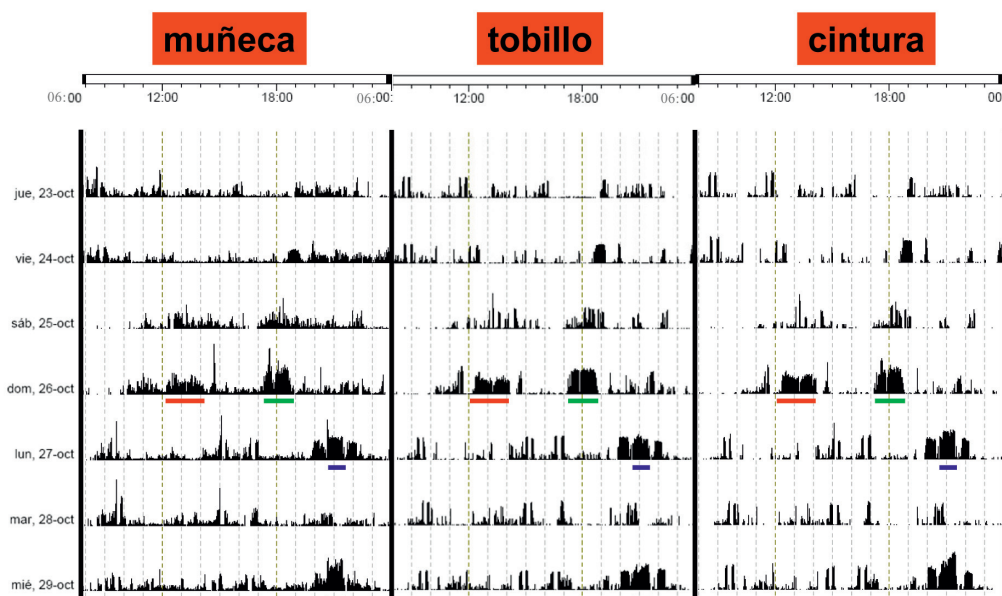
nes. El gasto energético total obtenido mediante la utilización de Actical® en la muñeca tendió a sobreestimar ligeramente (13,7%) con respecto al gasto energético total obtenido mediante la utilización del SWA, el obtenido al llevar el Actical® en la cintura tendió a infraestimar (-11,6%) con respecto al gasto obtenido mediante el SWA, mientras que el dato obtenido en el tobillo parece que es el que mejor se aproxima (-0,5%) a la línea de referencia (figura 1).

No obstante, la cuantificación de la actividad física obtenida con el Actical® colocado en distintas localizaciones es bastante similar como puede apreciarse en el ejemplo mostrado en la figura 2. El gasto energético total [tasa de metabolismo basal (BMR) + gasto energético asociado a la actividad física] obtenido con el acelerómetro Actical® fue de  $1.981 \pm 126$  kcal/d cuando el dispositivo se llevó en la muñeca, de  $1.843 \pm 173$  kcal/d cuando el dispositivo se llevó en el tobillo y de  $1.763 \pm 181$  kcal/d cuando el dispositivo se llevó en la cintura; mientras que con el SWA se obtuvo un gasto de  $1.835 \pm 199$  kcal/d.

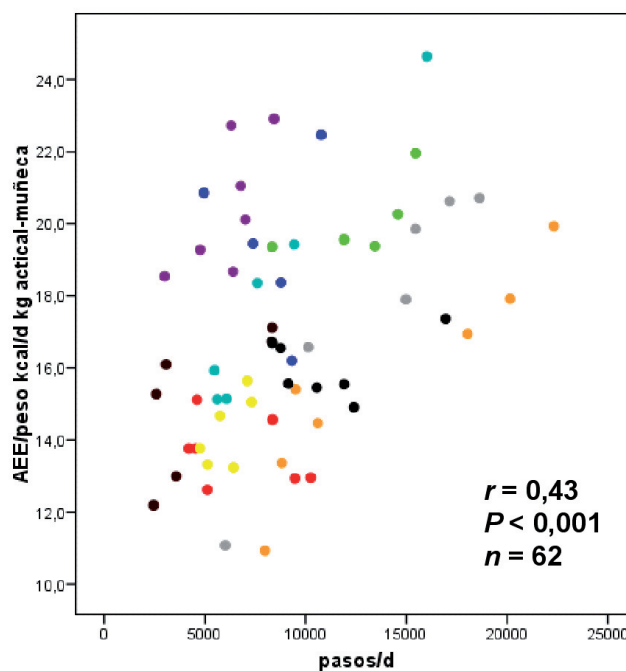
Por otra parte, también se comparó la medida de la actividad física y el gasto energético asociado a ella mediante el acelerómetro Actical® con el número de pasos diario determinado por medio del podómetro OMRON HJ-720IT-E2 (OMRON Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japón). Se realizó un estudio comparativo en 10 individuos (3 varones y 7 mujeres) con un registro de 5-7 días. Como puede apreciarse en la figura 3 se obtuvo un grado de correlación muy significativo ( $r = 0,43$ ,  $P < 0,001$ ) entre ambas determinaciones, si bien la dispersión fue mayor que en la comparación con el SWA.



**Figura 1.** Gráfico de dispersión en el que se muestra el alto grado de correlación existente entre el gasto energético total (en kcal/d) determinado mediante el dispositivo SWA y el gasto energético total (en kcal/d) determinado mediante acelerometría con el acelerómetro Actical® colocado en la muñeca del brazo no dominante del voluntario (izquierda), en el tobillo (centro) o en la cintura (derecha). Se determinó en un rango de 5-7 días en 4-7 sujetos representados por colores diferentes: 3 varones (marrón, verde y azul) y 4 mujeres (rojo, amarillo, fucsia y negro). Se indican el coeficiente de correlación de Pearson, la probabilidad asociada y el tamaño muestral. TEE: total energy expenditure (gasto energético total).



**Figura 2.** Comparación gráfica de los actogramas obtenidos mediante acelerometría con el acelerómetro Actical® colocado en la muñeca del brazo no dominante del voluntario (izquierda), en el tobillo (centro) o en la cintura (derecha) durante un periodo de siete días. El estudio se realizó con una voluntaria de 31 años e IMC de 19,1. Puede observarse el registro de diversas actividades físicas como ascensión a un monte (línea roja), descenso del mismo (línea verde), aerobic (línea azul) y stepper (línea violeta).



**Figura 3.** Gráfico de dispersión en el que se muestra el alto grado de correlación existente entre el número de pasos diario determinado mediante el podómetro OMRON HJ-720IT-E2 y el gasto energético asociado a la actividad física ajustado por la masa corporal (en kcal/d kg) determinado mediante acelerometría con el acelerómetro Actical® colocado en la muñeca del brazo no dominante del voluntario. Se determinó en un rango de 5-7 días en 10 sujetos representados por colores diferentes: 3 varones (amarillo, azul claro y violeta) y 7 mujeres (resto de colores). Se indican el coeficiente de correlación de Pearson, la probabilidad asociada y el tamaño muestral.

Las características de los pacientes incluidos en el estudio pueden apreciarse en la tabla 1. No se observaron diferencias en cuanto a la edad. El resto de los parámetros antropométricos fue significativamente mayor en los individuos con sobrepeso en comparación con los individuos delgados, con la excepción del porcentaje de grasa. Este hecho podría haber sido influido por la mayor

proporción de varones, que tienen menor porcentaje de grasa que las mujeres, en el grupo de individuos con sobrepeso. El grupo de pacientes obesos mostró un aumento significativo en todos los parámetros antropométricos en comparación con los otros dos grupos, con la excepción de la masa magra y el índice cintura-cadera.

**Tabla 1.** Características de los pacientes incluidos en el estudio

	Normopeso	Sobrepeso	Obesidad	P
n	46	17	31	
Sexo, V/F	12/34	13/4	16/15	
Edad, años	37,1 ± 1,4	37,6 ± 2,7	42,6 ± 2,0	NS
Peso, kg	59,2 ± 1,5	87,1 ± 2,0*	109,7 ± 3,9*†	<0,001
IMC, kg/m <sup>2</sup>	21,4 ± 0,3	27,8 ± 0,2*	38,3 ± 1,3*†	<0,001
Grasa corporal, %	24,2 ± 1,4	26,1 ± 1,7	47,3 ± 1,6*†	<0,001
Masa libre de grasa, kg	43,8 ± 1,9	66,2 ± 2,2*	59,1 ± 2,4*	<0,001
Cintura, cm	74 ± 1	98 ± 1*	120 ± 3*†	<0,001
ICC	0,79 ± 0,01	0,98 ± 0,01*	0,97 ± 0,02*	<0,001
PAS, mm Hg	103 ± 2	117 ± 2*	130 ± 4*†	<0,001
PAD, mm Hg	64 ± 2	76 ± 1*	83 ± 2*†	<0,001

IMC, índice de masa corporal; ICC, índice cintura-cadera; PAS, presión arterial sistólica; PAD, presión arterial diastólica. Los valores representan la media ± error estándar de la media (ESM). Las diferencias entre grupos se determinaron mediante ANOVA seguido del test de Fisher (*Least Significant. Difference, LSD*). \*P<0,05 vs normopeso. †P<0,05 vs sobrepeso.

Los individuos obesos (OB) mostraron un grado de actividad física significativamente menor que los sujetos normoponderales (NP) y con sobrepeso (SP) (NP: 357 ± 16, SP: 338 ± 23; OB: 298 ± 14 cuentas/min,  $P < 0,05$ ) determinado mediante el acelerómetro Actical® llevado en la muñeca, durante un promedio de seis días, como puede

apreciarse en la tabla 2. No hubo diferencias en el número de minutos diarios de sedentarismo, o con actividad física ligera o moderada entre grupos. Sin embargo, el número de minutos diarios de actividad física vigorosa fue ligeramente menor en los individuos obesos mostrando una tendencia hacia la significación ( $P = 0,056$ ).

**Tabla 2.** Actividad física y gasto energético de los pacientes durante el periodo global de medida.

	Normopeso	Sobrepeso	Obesidad	P
n	46	17	31	
Sexo, V/F	12/34	13/4	16/15	
REE, kcal/d	1407 ± 30	1845 ± 50*	1990 ± 57*	<0,001
PAEE, kcal/d	986 ± 43	1456 ± 84*	1618 ± 72*	<0,001
TEE, kcal/d	2391 ± 67	3300 ± 119*	3608 ± 104*†	<0,001
PA, cuentas/min	357 ± 16	338 ± 23	298 ± 14*	<0,05
PA sedentaria, min	583 ± 10	562 ± 29	614 ± 16	NS
PA ligera, min	655 ± 12	687 ± 22	658 ± 14	NS
PA moderada, min	199 ± 13	190 ± 18	168 ± 11	NS
PA vigorosa, min	2,8 ± 0,7	2,0 ± 0,8	0,6 ± 0,3	0,056

REE, gasto energético en reposo; PAEE, gasto energético asociado a la actividad física; TEE, gasto energético total. PA, actividad física. Los valores representan la media ± ESM. Las diferencias entre grupos se determinaron mediante ANOVA seguido del test de Fisher (*Least Significant. Difference, LSD*). \*P<0,05 vs normopeso. †P<0,05 vs sobrepeso.

Se realizó un análisis con el objetivo de determinar si existen diferencias en el patrón de actividad física entre los días laborables y los días de fin de semana. Se detectó que los pacientes obesos registran mayor número de minutos de sedentarismo durante los días laborables, aunque las diferencias únicamente mostraron una tendencia a la significación (tabla 3). Asimismo, se observó que los días laborables los individuos obesos presentan un tiempo menor de actividad física vigorosa (NP: 2,7 ± 0,7; SP 1,7 ± 0,9; OB: 0,3 ± 0,1 min/d,  $P < 0,05$ ), si bien la cantidad no parece muy determinante. Sin embargo, durante el fin de

semana los pacientes obesos registraron mayor tiempo de sedentarismo (NP: 634 ± 14 SP 583 ± 27, OB: 674 ± 22 min/d,  $P < 0,05$ ) y realizaron una cantidad significativamente menor de actividad física moderada (NP: 195 ± 13 SP 206 ± 25, OB: 141 ± 12 min/d,  $P < 0,05$ ), como puede apreciarse en la tabla 4. El número de cuentas/min de los días laborables en comparación con los de los días festivos, incluyendo a los individuos con normopeso, sobrepeso y obesidad, fue significativamente mayor (laborables: 339 ± 12 vs festivos: 317 ± 13 cuentas/min,  $P < 0,05$  mediante *t* de Student pareado de dos colas).



**Tabla 3.** Actividad física y gasto energético de los pacientes durante los días laborables

	Normopeso	Sobrepeso	Obesidad	P
PAEE, kcal/d	1014 ± 44	1368 ± 79*	1662 ± 81*†	<0,001
TEE, kcal/d	2421 ± 67	3191 ± 111*	3652 ± 110*†	<0,001
PA, cuentas/min	367 ± 18	330 ± 26	303 ± 16*	<0,05
PA sedentaria, min	555 ± 10	560 ± 31	601 ± 19	0,097
PA ligera, min	679 ± 12	703 ± 28	668 ± 14	NS
PA moderada, min	203 ± 14	176 ± 18	171 ± 12	NS
PA vigorosa, min	2,7 ± 0,7	1,7 ± 0,9	0,3 ± 0,1*	<0,05

REE, gasto energético en reposo; PAEE, gasto energético asociado a la actividad física; TEE, gasto energético total. PA, actividad física. Los valores representan la media ± ESM. Las diferencias entre grupos se determinaron mediante ANOVA seguido del test de Fisher (*Least Significant. Difference, LSD*). \*P<0,05 vs normopeso. †P<0,05 vs sobrepeso.

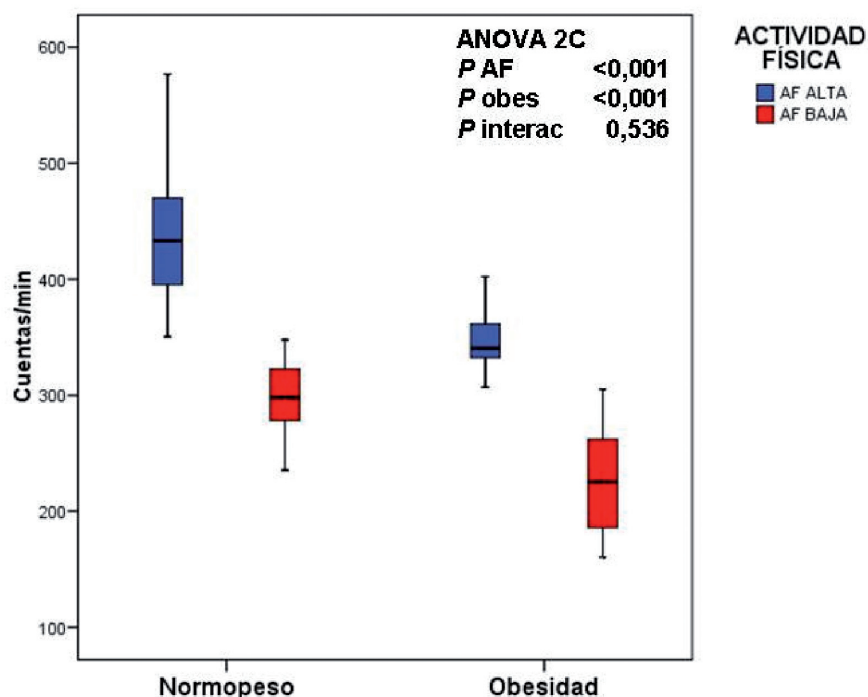
**Tabla 4.** Actividad física y gasto energético de los pacientes durante el fin de semana

	Normopeso	Sobrepeso	Obesidad	P
PAEE, kcal/d	946 ± 45	1480 ± 113*	1466 ± 83*	<0,001
TEE, kcal/d	2355 ± 69	3304 ± 150*	3451 ± 123*	<0,001
PA, cuentas/min	341 ± 17	347 ± 33	263 ± 18*†	<0,05
PA sedentaria, min	634 ± 14	583 ± 27	674 ± 22†	<0,05
PA ligera, min	609 ± 14	649 ± 24	624 ± 20	NS
PA moderada, min	195 ± 13	206 ± 25	141 ± 12*†	<0,05
PA vigorosa, min	2,8 ± 1,0	2,1 ± 1,4	1,8 ± 1,4	NS

REE, gasto energético en reposo; PAEE, gasto energético asociado a la actividad física; TEE, gasto energético total. PA, actividad física. Los valores representan la media ± ESM. Las diferencias entre grupos se determinaron mediante ANOVA seguido del test de Fisher (*Least Significant. Difference, LSD*). \*P<0,05 vs normopeso. †P<0,05 vs sobrepeso.

Se realizó un subanálisis para determinar si el hecho de realizar menor actividad física se traduce en un mayor riesgo metabólico. Para ello se analizaron 38 sujetos, 21 normoponderales y 17 obesos, que fueron a su vez subclasificados en

dos grupos en función de su grado de actividad física. Otra vez encontramos que los sujetos obesos presentan un menor número de cuentas ( $P < 0,001$ ) registradas por el acelerómetro durante el periodo de medida (Fig. 4).



**Figura 4.** Diagrama de cajas en el que se compara la cantidad objetiva de actividad física realizada durante un periodo de 6 días expresado como cuentas/min. Se analizaron 38 sujetos, 21 normoponderales y 17 obesos, que fueron a su vez subclasificados en dos grupos en función de su grado de actividad física. Las diferencias entre grupos se determinaron mediante ANOVA de dos criterios.

Los individuos obesos exhibieron una mayor concentración circulante de glucosa ( $P < 0,05$ ), así como de insulina ( $P < 0,001$ ) como puede apreciarse en la tabla 5. Los pacientes obesos mostraron un mayor grado de resistencia a la insulina evidenciado por un mayor valor del índice HOMA ( $P < 0,001$ ). Los pacientes con obesidad mostraron alteraciones significativas del perfil lipídico y de diferentes marcadores de inflamación, disfunción endotelial y función hepática. Los individuos obesos exhibieron hiperleptinemia ( $P < 0,01$ ) e hipoadiponectinemia ( $P < 0,01$ ).

Se observó una interacción entre el efecto de la actividad física y de la obesidad en el porcentaje de grasa corporal, que podría explicarse por el mayor número de mujeres incluidas en el grupo OB-A. También se detectó una interacción entre el efecto de la actividad física y de la obesidad en los niveles circulantes de triglicéridos que parecen indicar que los sujetos obesos son más sensibles

a la inactividad física para el desarrollo de hipertrigliceridemia. De manera similar, se observó una interacción entre el efecto de la actividad física y de la obesidad en los niveles de colesterol HDL que sugiere que los pacientes obesos muestran, más fácilmente que los individuos con normopeso, bajas concentraciones de HDL en respuesta a un bajo nivel de actividad física. También se observó una tendencia a la significación en la interacción entre el efecto de la actividad física y de la obesidad en el valor HOMA, lo que sugiere que los pacientes obesos inactivos presentan más fácilmente resistencia a la insulina que los sujetos normoponderales. Finalmente, el grado de actividad física tuvo un efecto marginal sobre las concentraciones circulantes de colesterol total y colesterol LDL. Estos datos parecen indicar que el perfil lipídico y la sensibilidad a la insulina son los aspectos que parecen más sensibles a la actividad física.

**Tabla 5.** Características de los pacientes incluidos en el subestudio de riesgo cardiometabólico

					ANOVA 2 criterios		
	NP-A	NP-S	OB-A	OB-S	P obes	P FA	P inter
	11	10	9	8			
Sexo, V/F	5/6	3/7	1/8	7/1			
Edad, años	33 ± 2	37 ± 4	41 ± 5	42 ± 5	NS	NS	NS
Peso, kg	66,2 ± 4,7	63,0 ± 4,1	106,4 ± 8,7	116,4 ± 8,7	<0,001	NS	NS
IMC, kg/m <sup>2</sup>	22,9 ± 1,1	22,0 ± 1,0	38,9 ± 2,9	38,5 ± 1,6	<0,001	NS	NS
Grasa corporal, %	20,0 ± 2,6	28,4 ± 1,9	50,3 ± 2,1	42,2 ± 2,7	<0,001	NS	<0,01
Cintura, cm	77 ± 4	77 ± 4	117 ± 5	120 ± 10	<0,001	NS	NS
Índice cintura-cadera	0,82 ± 0,03	0,81 ± 0,03	0,95 ± 0,03	1,00 ± 0,05	<0,001	NS	NS
PAS, mm Hg	103 ± 4	108 ± 6	132 ± 9	132 ± 9	<0,001	NS	NS
PAD, mm Hg	64 ± 4	66 ± 4	82 ± 5	84 ± 5	<0,001	NS	NS
Glucosa, mg/dL	88 ± 5	91 ± 5	108 ± 12	145 ± 48	<0,05	NS	NS
Insulina, μU/mL	8,2 ± 1,4	6,7 ± 1,4	14,4 ± 3,1	21,3 ± 2,3	<0,001	NS	NS
HOMA	1,67 ± 0,30	1,53 ± 0,43	4,09 ± 0,98	8,87 ± 3,95	<0,001	0,073	0,058
Triglicéridos, mg/dL	62 ± 7	64 ± 6	120 ± 16	213 ± 30	<0,001	<0,01	<0,05
Colesterol, mg/dL	159 ± 9	178 ± 16	190 ± 9	218 ± 23	<0,05	0,093	NS
LDL-colesterol, mg/dL	86 ± 5	97 ± 9	111 ± 11	143 ± 19	<0,01	0,071	NS
HDL-colesterol, mg/dL	60 ± 5	69 ± 9	55 ± 5	33 ± 6	<0,01	NS	<0,05
AGL, mmol/L	0,38 ± 0,04	0,480 ± 0,10	0,62 ± 0,08	0,65 ± 0,07	<0,05	NS	NS
Ácid urico, mg/dL	4,2 ± 0,2	4,5 ± 0,2	5,2 ± 0,7	6,4 ± 0,3	<0,05	NS	NS
Fibrinógeno, mg/dL	192 ± 19	190 ± 7	380 ± 68	296 ± 27	<0,001	NS	NS
vWF, %	89 ± 25	56 ± 11	159 ± 21	139 ± 8	<0,01	NS	NS
Homocisteína, μmol/L	6,3 ± 0,3	7,6 ± 0,7	8,3 ± 1,5	6,2 ± 0,7	NS	NS	0,063
ALT, UI/L	10 ± 4	5 ± 1	23 ± 5	27 ± 5	<0,01	NS	NS
γ-GT, UI/L	11 ± 2	14 ± 3	27 ± 12	39 ± 7	<0,05	NS	NS
Creatinina, mg/dL	0,83 ± 0,04	0,85 ± 0,04	0,810 ± 0,05	0,88 ± 0,05	NS	NS	NS
Leptina, ng/mL	6,6 ± 1,2	9,6 ± 2,1	43,8 ± 8,2	23,3 ± 9,0	<0,01	NS	NS
Adiponectina, □g/mL	6,8 ± 0,9	7,3 ± 1,1	4,7 ± 0,4	4,1 ± 0,5	<0,01	NS	NS

NP-A, grupo de sujetos con normopeso y con actividad física alta; NP-S, grupo de sujetos con normopeso y con actividad física baja; OB-A, grupo de sujetos con obesidad y con actividad física alta; OB-S, grupo de sujetos con obesidad y con actividad física baja; IMC, índice de masa corporal; PAS, presión arterial sistólica; PAD, presión arterial diastólica; HOMA, homeostatic model assessment; AGL, ácidos grasos libres; vWF, factor von Willebrand; ALT, alanino aminotransferasa; γ-GT, □-glutamilttransferasa. Los valores representan la media ± ESM. Las diferencias entre grupos se determinaron mediante ANOVA de 2 criterios.

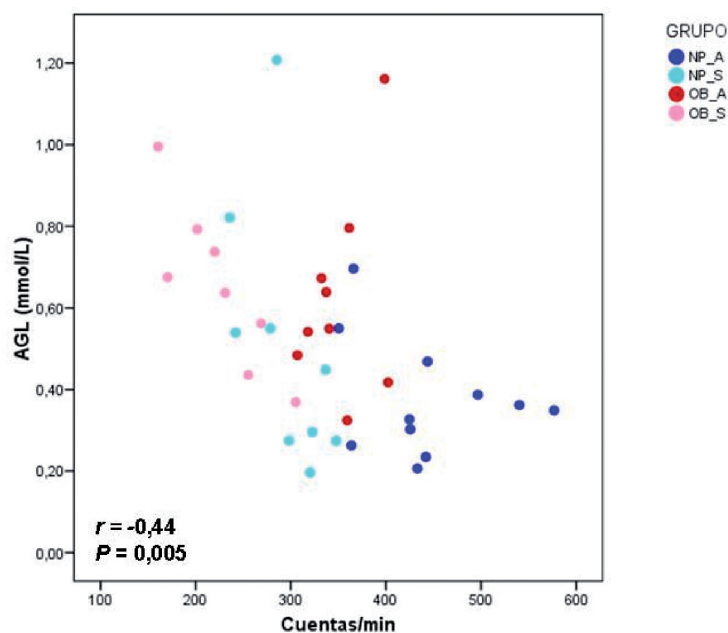
El grado de actividad física, expresado como cuentas/min, obtenido con el acelerómetro Actical® colocado en la muñeca se correlacionó significativamente con el peso corporal, el IMC, el porcentaje de grasa corporal, el perímetro de la cintura, el índice cintura-cadera, la PAS,

la PAD, las concentraciones circulantes de glucosa, el HOMA, la concentración plasmática de triglicéridos (tabla 6). Cabe destacar la fuerte asociación detectada entre la actividad física y la concentración circulante de ácidos grasos libres (Figura 5).

**Tabla 6.** Correlaciones bivariadas entre la actividad física (cuentas/min) y otras variables.

Variable	<i>r</i>	<i>P</i>
Edad	-0,27	0,099
Sexo	0,27	0,101
Peso corporal	-0,43	<b>0,007</b>
IMC	-0,38	<b>0,017</b>
Grasa corporal	-0,37	<b>0,029</b>
Cintura	-0,42	<b>0,015</b>
ICC	-0,39	<b>0,025</b>
PAS	-0,40	<b>0,033</b>
PAD	-0,43	<b>0,022</b>
Glucosa	-0,36	<b>0,035</b>
Insulina	-0,40	0,053
HOMA	-0,50	<b>0,014</b>
Triglicéridos	-0,47	<b>0,016</b>
Colesterol total	-0,32	0,117
Colesterol HDL	0,32	0,114
Colesterol LDL	-0,36	0,070
AGL	-0,44	<b>0,005</b>
ALT	-0,36	0,075
Leptina	-0,11	0,596
Adiponectina	0,20	0,238

IMC, índice de masa corporal; ICC, índice cintura-cadera; PAS, presión arterial sistólica; PAD, presión arterial diastólica; HOMA, *homeostatic model assessment*; AGL, ácidos grasos libres; ALT, alanina aminotransferasa. Los valores representan el coeficiente de correlación de Pearson y la *P* asociada. Sexo Varón=1; Mujer=2.



**Figura 5.** Gráfico de dispersión en el que se muestra el alto grado de correlación existente entre la actividad física determinada mediante acelerometría con el acelerómetro Actical® colocado en la muñeca del brazo no dominante del voluntario y las concentraciones circulantes de ácidos grasos libres. Se indican el coeficiente de correlación de Pearson, la probabilidad asociada. NP-A, grupo de sujetos con normopeso y con actividad física alta; NP-S, grupo de sujetos con normopeso y con actividad física baja; OB-A, grupo de sujetos con obesidad y con actividad física alta; OB-S, grupo de sujetos con obesidad y con actividad física baja.

### 3. CONCLUSIONES

En resumen, podemos concluir que el acelerómetro Actical® permite obtener una medida objetiva del grado de actividad física de un individuo. Mediante esta determinación podemos establecer diferencias entre los individuos normoponderales y los pacientes obesos. Además, un bajo grado de actividad física se asocia con un peor perfil lipídico y mayor resistencia a la insulina, sobre todo en los sujetos obesos, aumentando su riesgo cardiometabólico.

### 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] WHO. Obesity. Preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity. WHO/NUT/NCD/981, WHO, Geneva. 1998.
- [2] Yach D, Stuckler D, Brownell KD. Epidemiologic and economic consequences of the global epidemics of obesity and diabetes. *Nat Med* 2006;12:62-6.
- [3] Mokdad AH, Ford ES, Bowman BA, Dietz WH, Vinicor F, Bales VS, Marks JS. Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors, 2001. *JAMA* 2003;289:76-9.
- [4] Manson JE, Skerrett PJ, Greenland P, VanItallie TB. The escalating pandemics of obesity and sedentary lifestyle. A call to action for clinicians. *Arch Intern Med* 2004;164:249-58.
- [5] Aranceta J, Perez Rodrigo C, Serra Majem L, Ribas Barba L, Quiles Izquierdo J, Vioque J, Tur Mari J, Mataix Verdu J, Llopis Gonzalez J, Tojo R, Foz Sala M. Prevalencia de la obesidad en España: resultados del estudio SEEDO 2000. *Med Clin (Barc)* 2003;120:608-12.
- [6] Gutiérrez-Fisac JL, López E, Banegas JR, Graciani A, Rodríguez-Artalejo FR. Prevalence of overweight and obesity in elderly people in Spain. *Obes Res* 2003;12:710-5.
- [7] Kenchaiah S, Evans JC, Levy D, Wilson PW, Benjamin EJ, Larson MG, Kannel WB, Vasan RS. Obesity and the risk of heart failure. *N Engl J Med* 2002;347:305-13.
- [8] Calle EE, Rodriguez C, Walker-Thurmond K, Thun MJ. Overweight, obesity, and mortality from cancer in a prospectively studied cohort of U.S. adults. *N Engl J Med* 2003;348:1625-38.
- [9] Maggio CA, Pi-Sunyer FX. Obesity and type 2 diabetes. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2003;32:805-22, viii.
- [10] Aneja A, El-Atat F, McFarlane SI, Sowers JR. Hypertension and obesity. *Recent Prog Horm Res* 2004;59:169-205.
- [11] Poirier P, Giles TD, Bray GA, Hong Y, Stern JS, Pi-Sunyer FX, Eckel RH. Obesity and cardiovascular disease: pathophysiology, evaluation, and effect of weight loss. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2006;26:968-76.
- [12] Calle EE, Thun MJ, Petrelli JM, Rodriguez C, Heath CW. Body-Mass index and mortality in a prospective cohort of US adults. *NEJM* 1999;341:1097-105.
- [13] Olshansky SJ, Passaro DJ, Hershow RC, Layden J, Carnes BA, Brody J, Hayflick L, Butler RN, Allison DB, Ludwig DS. A potential decline in life expectancy in the United States in the 21st century. *N Engl J Med* 2005;352:1138-45.
- [14] Frühbeck G, Gómez-Ambrosi J, Muruzábal FJ, Burrell MA. The adipocyte: a model for integration of endocrine and metabolic signaling in energy metabolism regulation. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2001;280:E827-47.
- [15] Frühbeck G. The adipose tissue as a source of vasoactive factors. *Curr Med Chem - Cardiovasc Hematol Agents* 2004;2:197-208.
- [16] Frühbeck G, Gómez-Ambrosi J. Adipose tissue. In: *Encyclopedia of Human Nutrition 2nd Ed*, Caballero, B., Allen, L. and Prentice, A., Eds. Elsevier Ltd., Oxford, UK. 2005; Vol. 1, pp. 1-14.
- [17] Gómez-Ambrosi J, Frühbeck G. Evidence for the involvement of resistin in inflammation and cardiovascular disease. *Curr Diabetes Rev* 2005;1:227-34.
- [18] Gómez-Ambrosi J, Salvador J, Rotellar F, Silva C, Catalán V, Rodríguez A, Gil MJ, Frühbeck G. Increased serum amyloid A concentrations in morbid obesity decrease after gastric bypass. *Obes Surg* 2006;16:262-9.
- [19] Fernández-Real JM, Ricart W. Insulin resistance and chronic cardiovascular inflammatory syndrome. *Endocr Rev* 2003;24:278-301.
- [20] Hotamisligil GS. Inflammation and metabolic disorders. *Nature* 2006;444:860-7.
- [21] Trayhurn P, Wood IS. Adipokines: inflammation and the pleiotropic role of white adipose tissue. *Br J Nutr* 2004;92:347-55.
- [22] Lau DC, Dhillon B, Yan H, Szmítko PE, Verma S. Adipokines: molecular links between obesity and atherosclerosis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2005;288:H2031-41.
- [23] Prentice AM, Jebb SA. Beyond body mass index. *Obes Rev* 2001;2:141-7.
- [24] Frühbeck G. Screening and interventions for obesity in adults. *Ann Intern Med* 2004;141:245-6.
- [25] Das SK, Roberts SB, Kehayias JJ, Wang J, Hsu LK, Shikora SA, Saltzman E, McCrory MA. Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284:E1080-8.
- [26] Ginde SR, et al. Air displacement plethysmography: validation in overweight and obese subjects. *Obes Res* 2005;13:1232-7.
- [27] Pi-Sunyer FX. A clinical view of the obesity problem. *Science* 2003;299:859-60.
- [28] Hill JO, Wyatt HR, Reed GW, Peters JC. Obesity and the environment: where do we go from here? *Science* 2003;299:853-5.
- [29] Flier JS. Obesity wars: molecular progress confronts an expanding epidemic. *Cell* 2004;116:337-50.
- [30] Bell CG, Walley AJ, Froguel P. The genetics of human obesity. *Nat Rev Genet* 2005;6:221-34.
- [31] Prentice AM, Jebb SA. Obesity in Britain: gluttony or sloth? *BMJ* 1995;311:437-9.
- [32] Poirier P, Giles TD, Bray GA, Hong Y, Stern JS, Pi-Sunyer FX, Eckel RH. Obesity and cardiovascular disease: pathophysiology, evaluation, and effect of weight loss: an update of the 1997 American Heart Association Scientific Statement on Obesity and Heart Disease from the Obesity Committee of the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation* 2006;113:898-918.
- [33] Leal-Cerro A, Gippini A, Amaya MJ, Lage M, Mato JA, Dieguez C, Casanueva FF. Mechanisms underlying the neuroendocrine responses to physical exercise. *J Endocrinol Invest* 2003;26:879-85.
- [34] Manson JE, Hu FB, Rich-Edwards JW, Colditz GA, Stampfer MJ, Willett WC, Speizer FE, Hennekens CH. A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the prevention of coronary heart disease in women. *N Engl J Med* 1999;341:650-8.
- [35] Hu FB, Sigal RJ, Rich-Edwards JW, Colditz GA, Solomon CG, Willett WC, Speizer FE, Manson JE. Walking compared with vigorous physical activity and risk of type 2 diabetes in women: a prospective study. *JAMA* 1999;282:1433-9.
- [36] Hu FB, Willett WC, Li T, Stampfer MJ, Colditz GA, Manson JE. Adiposity as compared with physical activity in predicting mortality among women. *N Engl J Med* 2004;351:2694-703.

- [37] Bruunsgaard H. Physical activity and modulation of systemic low-level inflammation. *J Leukoc Biol* 2005;78:819-35.
- [38] Auwerx J. Improving metabolism by increasing energy expenditure. *Nat Med* 2006;12:44-5.
- [39] Mora S, Lee IM, Buring JE, Ridker PM. Association of physical activity and body mass index with novel and traditional cardiovascular biomarkers in women. *JAMA* 2006;295:1412-9.
- [40] Plasqui G, Joosen AM, Kester AD, Goris AH, Westerterp KR. Measuring free-living energy expenditure and physical activity with triaxial accelerometry. *Obes Res* 2005;13:1363-9.
- [41] Ness AR, Leary SD, Mattocks C, Blair SN, Reilly JJ, Wells J, Ingle S, Tilling K, Smith GD, Riddoch C. Objectively measured physical activity and fat mass in a large cohort of children. *PLoS Med* 2007;4:e97.
- [42] Crouter SE, Churilla JR, Bassett DR, Jr. Estimating energy expenditure using accelerometers. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:601-12.
- [43] Chen KY, Bassett DRJ. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:S490-500.
- [44] Davis JN, et al Physical activity compliance: differences between overweight/obese and normal-weight adults. *Obesity* 2006;14:2259-65.
- [45] Pate RR, Almeida MJ, McIver KL, Pfeiffer KA, Dowda M. Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity* 2006;14:2000-6.
- [46] Craig CL, Marshall AL, Sjoström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, Pratt M, Ekelund U, Yngve A, Sallis JF, Oja P. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1381-95.
- [47] Tudor-Locke C, Ainsworth BE, Whitt MC, Thompson RW, Addy CL, Jones DA. The relationship between pedometer-determined ambulatory activity and body composition variables. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001;25:1571-8.
- [48] Plasqui G, Westerterp KR. Accelerometry and heart rate as a measure of physical fitness: cross-validation. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:1510-4.