

**D. RAFAEL REYES ROMERO, SECRETARIO DEL  
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,**

## **CERTIFICA,**

Que la Comisión de Investigación del Departamento en su sesión de fecha 3 de noviembre de 2011, tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada "*Influencia de la adiposidad y la actividad física en la condición física*" presentada por la doctoranda D<sup>a</sup>. Safira Delgado Guerra y dirigida por el doctor D. José A. Serrano Sánchez.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Art. 73.2 del Reglamento de Estudios de Doctorado de esta Universidad, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a cuatro de noviembre de dos mil once.





UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA  
Departamento de Educación Física

Programa de Doctorado  
“Actividad Física, Salud y Rendimiento Deportivo”

**Título de la Tesis**

**Influencia de la Adiposidad y la Actividad Física en la  
Condición Física**

*Influence of adiposity and physical activity on physical fitness*

Tesis Doctoral presentada por D<sup>a</sup>. Safira R. Delgado Guerra.  
Dirigida por el Dr. D. José Antonio Serrano Sánchez.

**El Director**

**El Doctorando**

(firma)

(firma)

Las Palmas de Gran Canaria, octubre de 2011

# Índice de contenidos

I. Prólogo y agradecimientos .....	6
II. Proyectos de investigación .....	8
III. Ayudas y subvenciones .....	9
IV. Publicaciones.....	10
V. Resumen .....	11
VI. Abstract .....	12
VII. Abreviaturas y acrónimos .....	13
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>18</b>
2.1. Obesidad .....	19
2.1.1 Definición de sobrepeso y obesidad.....	19
2.1.2 Prevalencia y evolución de la obesidad.....	20
2.1.2.1 Adultos.....	21
2.1.2.2 Niños y jóvenes. ....	23
2.1.3 Causas de la obesidad. ....	25
2.1.3.1 Predisposición genética.....	27
2.1.3.2 Durante el embarazo.....	28
2.1.3.3 Lactancia Materna.....	29
2.1.3.4 Ganancia rápida de peso en los 2 primeros años de edad ....	31
2.1.3.5. Cambios en la alimentación.....	31
2.1.3.6. Actividad física, inactividad y tiempo frente a pantallas. ....	32
2.1.4. Influencia de la obesidad en la salud actual y futura. ....	34
2.2. Actividad física y condición física.....	43
2.2.1. Definición de actividad física y conceptos relacionados.....	43
2.2.2. Relaciones entre la condición física, la actividad física y la salud. ....	46
2.2.2.1 Adultos.....	48
2.2.2.2 Niños y jóvenes. ....	49
2.2.2.3 Estudios de intervención con actividad física para prevenir la obesidad y la salud en niños y jóvenes. ....	51

<b>3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>58</b>
<b>4. MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
4.1. Muestra.....	61
4.2. Consentimiento y aprobación ética.....	61
4.3. Recogida de datos.....	61
4.4. Evaluación de la actividad física.....	62
4.4.1. Gasto energético estimado.....	62
4.4.2. Nivel de actividad física.....	63
4.5. Evaluación de la condición física.....	64
4.5.1. Velocidad de carrera.....	64
4.5.2. Capacidad anaeróbica.....	65
4.5.3. Potencia aeróbica máxima.....	65
4.5.4. Capacidad de salto y fuerza isométrica máxima de las extremidades inferiores.....	65
4.6. Antropometría y composición corporal.....	66
4.6.1. Antropometría.....	66
4.6.2. Composición corporal.....	67
4.7. Análisis de datos.....	67
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
5.1. Gasto energético estimado vs. antropometría y composición corporal.....	71
5.2. Gasto energético estimado vs. condición física cardiorrespiratoria.....	71
5.3. Gasto energético estimado vs. condición física muscular.....	73
5.4. Nivel de actividad física vs. condición física, antropometría y composición corporal.....	73
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>74</b>
6.1. Rol de la adiposidad en las relaciones de la actividad física con la condición física.....	75
6.2. Asociaciones entre el gasto energético derivado del IPAQ con la condición física, antropometría y composición corporal.....	77
6.3. Diferencias de condición física, antropometría y composición corporal entre los tres niveles de actividad física del IPAQ.....	78
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>82</b>
<b>9. ANEXO: MANUSCRITO.....</b>	<b>102</b>

## **I. Prólogo y agradecimientos.**

El estudio en el que se basa esta tesis fue llevado a cabo entre los años 2006-2008 en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en el laboratorio de Rendimiento Humano y en el Departamento de Educación Física.

Estoy altamente agradecida a mis supervisores, el profesor doctor José Antonio López Calbet, coordinador del grupo de investigación en Rendimiento Humano, Ejercicio Físico y Salud, a la profesora doctora Cecilia Dorado García, investigadora principal del proyecto de investigación que me ha permitido formarme como doctoranda y particularmente al profesor doctor José Antonio Serrano Sánchez, tutor y director de este trabajo doctoral, por su predisposición a reunirse en cualquier circunstancia o situación para avanzar y discutir constructivamente sobre diversos aspectos de la tesis. A los tres supervisores debo agradecerles su “feed-back” productivo y enriquecedor, y ofrecerme la oportunidad de formar parte del grupo de investigación y participar en los trabajos científicos.

A mis compañeros por su entusiasmo y buen humor que acompañaron mi trabajo diario en el laboratorio y en las pistas recogiendo datos y posteriormente cuando preparábamos las comunicaciones para los congresos del European College of Sports Science y American College of Sports Medicine; todos ellos formarán parte de esta experiencia de formarnos como doctorandos. Los desafíos han sido muchos, y mis compañeros han contribuido con su apoyo y ejemplo a facilitarme el trayecto.

Las discusiones acerca de los aspectos estadísticos me han resultado especialmente instructivas gracias al profesor doctor Juan José González Henríquez. Aprecio realmente su predisposición para atenderme y la pedagogía de sus explicaciones.

Deseo agradecer al Departamento de Educación Física la admisión como alumna del programa de doctorado y acogerme en sus instalaciones. Igualmente me siento agradecida al Servicio de Deportes de la ULPGC por facilitarme el acceso a las instalaciones para la realización de muchos test de condición física. La Facultad de Ciencias de la Actividad Física también me hospedó académicamente durante estos años, facilitándome el acceso a los laboratorios donde se realizaron una buena parte de los test de condición física y composición corporal. Igualmente hago extensivo mi agradecimiento a la Academia Canaria de Seguridad, por creer en este proyecto y proporcionar la ayuda financiera necesaria.

Mi agradecimiento va también dirigido a José Navarro del Tuero, su ayuda y consejo diario para funcionar bien dentro del laboratorio ha contribuido sin duda a hacer mas llevaderas y eficientes la tareas cotidianas. A Yolanda Bergaz le expreso mi gratitud por su diligencia y facilitar los trámites burocráticos.

A mi padre Alfredo, quien se fue pronto... muy pronto. Que cuando miro al cielo, pienso que me está mirando y siguiendo todos mis pasos. A menudo me acuerdo de tan cortos pero bellos momentos: por la mañana, por la noche, cuando estoy feliz, triste, cansada, cuando llegan ciertas fechas, cuando escucho una canción o visito un lugar, un olor, mirando las estrellas... Te extraño, te amo.

A mi madre Antonia, que la adoro. A quien debo lo que soy y mucho de lo que hago. Mi gratitud será eterna.

A mis hermanos, David y Alfredo, les profeso un profundo agradecimiento porque me han dado muchas alegrías, apoyo y compañía en todo momento.

A mis sobrinas, Andrea, Claudia, Carlota y Adriana, que me han aportado fuerza y coraje. Su compañía y vitalidad han aliviado muchas horas de esfuerzo.

Gracias.

## II. Proyectos de investigación.

La presente Tesis Doctoral está basada principalmente en los datos obtenidos del Proyecto de Investigación con el cuerpo de la policía local de Gran Canaria, pero también se han incluido datos de los proyectos que más abajo se detallan:

1. *Título del proyecto:* Evaluación de la condición física del cuerpo de policía local y bomberos de Canarias. Establecimiento de un programa piloto de ejercicio para la mejora de la condición física.

*Entidad financiadora:* Gobierno de Canarias (ref. convenio 6/04)

*Duración,* desde: enero 2004 hasta: diciembre 2006

*Investigador responsable:* Cecilia Dorado García.

*Implicaciones de la candidata doctoral:* participación en todas las reuniones de trabajo, selección y seguimiento de la muestra y evaluaciones de campo y clínicas. La candidata ha estado también implicada en la depuración y análisis de datos, presentación de resultados en congresos y redacción de los manuscritos.

2. *Título del proyecto:* Influencia del polimorfismo del receptor de andrógenos en la masa muscular, la morfología muscular y la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza.

*Entidad financiadora:* Ministerio de Educación y Ciencia (referencia DEP-2006-56076-c06-04/acti)

*Duración,* desde: enero 2006 hasta: diciembre 2009

*Investigador responsable:* Cecilia Dorado García.

*Implicaciones de la candidata doctoral:* participación en todas las reuniones de trabajo, selección y seguimiento de la muestra y evaluaciones de campo y clínicas. La candidata ha estado también implicada en la depuración y análisis de datos, y redacción de los manuscritos.

3. *Título del proyecto:* Influencia del ejercicio físico en los mecanismos de señalización de leptina en el músculo esquelético humano.

*Entidad financiadora:* Ministerio de Educación y Ciencia. (ref. BFU2006-13784/BFI)

*Duración,* desde: enero 2006 hasta: diciembre 2009

*Investigador responsable:* José Antonio López Calbet.

*Implicaciones de la candidata doctoral:* participación en todas las reuniones de trabajo, selección y seguimiento de la muestra y evaluaciones de campo y clínicas. La candidata ha estado también implicada en la depuración y análisis de datos, y redacción de los manuscritos.

4. *Título del proyecto:* Mecanismos fisiológicos y moleculares de la reducción de masa grasa en seres humanos mediante ejercicios de musculación.

*Entidad financiadora:* Comunidad Autónoma de Canarias (ref. PIO-42005/177).

*Duración,* desde: enero 2006 hasta: diciembre 2007

*Investigador responsable:* José Antonio López Calbet.

*Implicaciones de la candidata doctoral:* participación en todas las reuniones de trabajo, selección y seguimiento de la muestra y evaluaciones de campo y clínicas. La candidata ha estado también implicada en la depuración y análisis de datos, y redacción de los manuscritos.

### III. Ayudas y subvenciones.

La formación doctoral de Safira Delgado Guerra ha sido financiada con una beca del Cabildo de Gran Canaria, durante los años 2005-2009. Esta tesis tampoco hubiera sido posible sin las ayudas que a continuación se indican:

- Beca de Formación Profesional de la Fundación Canaria Universitaria de Las Palmas durante el año 2004, para la realización del proyecto señalado con el número uno en el apartado anterior (Evaluación de la condición física del cuerpo de Policía Local y Bomberos de Canarias).
- Ayuda de la ULPGC para asistir al 10th Annual Congress of the European College of Sport Science, en Belgrado (Bosnia-Herzegovina) entre los días 13-16 de julio de 2005, y presentar el trabajo "Direct and indirect assessment of physical fitness: lack of validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in adults?".
- Ayuda de la ULPGC para asistir al 11th Annual Congress of the European College of Sport Science, en Lausanne (Suiza) entre los días 05-08 de julio de 2006, y presentar el trabajo "The International Physical Activity Questionnaire: Short or Long version?"
- Ayuda de la ULPGC para asistir al American College of Sports Medicine 53rd annual meeting, en Denver (Colorado) entre los días 31 de mayo-3 de Junio de 2007, y presentar el trabajo "Reduced Serum Leptin Concentration following Strength Training Combined with Plyometric Exercises in Young Women".
- Ayuda de la ULPGC para asistir al 12th Annual Congress of the European College of Sport Science, en Jyväskylä (Finlandia) entre los días 11-14 de julio de 2007, y presentar el trabajo "Negative Association Between Leptin and Bone Mineral Density in Human Males".



#### IV. Publicaciones.

La presente Tesis está basada en el siguiente manuscrito científico.

Serrano-Sánchez, JA., Delgado-Guerra, S., Olmedillas, H., Guadalupe-Grau, A., Arteaga-Ortiz, R., Sanchis-Moysi, J., Dorado, Cecilia y Calbet, JAL. ***Adiposity and age explain most of the association between physical activity and fitness in physically active men***, PLOS ONE, 5 (10): e13435, DOI:10.1371/journal.pone.0013435.t003

## V. Resumen.

La actividad física regular, un alto nivel de condición física y el mantenimiento de un peso normal están fuertemente asociados con diversos resultados positivos de salud. Hay una necesidad real de desarrollar buenos instrumentos para evaluar los niveles y patrones de actividad física en la población general. El objetivo de esta tesis es determinar si existe una relación entre la actividad física evaluada con la versión corta del International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) y la condición física cardiorrespiratoria y muscular. En caso de existir asociaciones, el siguiente objetivo será examinar el rol de la adiposidad corporal en la relación entre la actividad física y la condición física.

La muestra estuvo compuesta por 182 hombres (rango de edad 20-55 años), lo cuales completaron la versión corta del IPAQ para evaluar la actividad física. Asimismo, se midió la composición corporal mediante absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA), la condición física muscular (fuerza estática y dinámica, potencia de salto con y sin contramovimiento), velocidad (30 mts.), capacidad anaeróbica (300 mts.) y aeróbica ( $VO_2$  max estimado con el test progresivo de 20 mts ida y vuelta). Los datos fueron analizados mediante estadística bivariable (correlaciones y análisis de la varianza) y multivariable (correlaciones parciales, regresión lineal y análisis de la covarianza).

El gasto energético de la actividad física moderada y vigorosa (GEAFmoderada y GEAFvigorosa, respectivamente) estuvo inversamente asociado con diversos indicadores de adiposidad ( $r = -0.21$  a  $-0.37$ ,  $p < 0.05$ ). La condición física cardiorrespiratoria estuvo positivamente asociada con el LogGEAFmoderada ( $r = 0.26$ ,  $p < .05$ ) y LogGEAFvigorosa ( $r = 0.27$ ,  $p < 0.05$ ). Sin embargo, dichas asociaciones se perdieron después de ajustar por el porcentaje de grasa corporal. Los resultados de una regresión lineal múltiple por pasos sucesivos para predecir el  $VO_2$  desde el LogGEAFcaminar, LogGEAFmoderada, LogGEAFvigorosa, LogGEAFtotal, edad y porcentaje de grasa corporal, mostró que el porcentaje de grasa por si solo explicaba hasta un 62% de la varianza del  $VO_2$  max y que la edad añadía otro 10%, mientras que las otras variables no añadían valor predictivo al modelo: [ $VO_2$  max =  $129.62 - (25.16 \times \text{Log \% grasa}) - (34.06 \times \text{Log edad}$ ); ES:  $4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $R^2 = 0.72$ , ( $p < 0.05$ )]. No observamos asociaciones entre la condición física muscular y la actividad física incluso después de ajustar por la grasa corporal y la edad.

Las principales conclusiones de esta tesis es que la adiposidad y la edad son los predictores más potentes del  $VO_2$  max en adultos saludables. La energía gastada en actividades físicas vigorosas y moderadas estuvo inversamente asociada a la adiposidad. La condición física muscular no aparenta estar asociada a la actividad física evaluada con la versión corta del IPAQ.

## VI. Abstract.

A high level of physical fitness, normal weight and regular physical activity are strongly associated to diverse health benefits. There is a real need to develop good instruments to evaluate physical activity in general population. The overall aim of this thesis was to determine if there is an association between physical activity assessed by the short version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and cardiorespiratory and muscular fitness. If an association exists, the aim will be to examine the role of adiposity on the relationship between physical activity and physical fitness.

Sample was compound by 182 healthy men (age range 20-55 years-old), who completed the short version of IPAQ to assess physical activity. Body composition (dual-energy X-Ray absorptiometry), muscular fitness (static and dynamic muscle force and power, vertical jump height, running speed [30 m sprint], anaerobic capacity [300 m running test]) and cardiorespiratory fitness (estimated  $\text{VO}_2$  max: 20 m shuttle run test) were also determined in all subjects. Data were analyzed with bivariate (correlations and analyses of variance) and multivariate statistics (partial correlations, multiple linear regression and analysis of covariance).

Activity-related energy expenditure of moderate and vigorous intensity (EEPAmoderate and EEPAvigorous, respectively) was inversely associated with indices of adiposity ( $r = -0.21$  to  $-0.37$ ,  $p < 0.05$ ). Cardiorespiratory fitness ( $\text{VO}_2$  max) was positively associated with LogEEPAmoderate ( $r = 0.26$ ,  $p < 0.05$ ) and LogEEPAvigorous ( $r = 0.27$ ). However, no association between  $\text{VO}_2$  max with LogEEPAmoderate, LogEEPAvigorous and LogEEPAtotal was observed after adjusting for the percentage of body fat. Multiple stepwise regression analysis to predict  $\text{VO}_2$  max from LogEEPAwalking, LogEEPAmoderate, LogEEPAvigorous, LogEEPAtotal, age and percentage of body fat (%fat) showed that the %fat alone explained 62% of the variance in  $\text{VO}_2$  max and that the age added another 10%, while the other variables did not add predictive value to the model [ $\text{VO}_2$  max =  $129.62 - (25.16 \times \text{Log \% fat}) - (34.06 \times \text{Log age}$ ); EES:  $4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $R^2 = 0.72$ , ( $p < 0.05$ )]. No positive association between muscular fitness-related variables and physical activity was observed, even after adjusting for body fat or body fat and age.

The main conclusions of the present thesis were that adiposity and age are the strongest predictors of  $\text{VO}_2$  max in healthy men. The energy expended in moderate and vigorous physical activities is inversely associated with adiposity. Muscular fitness does not appear to be associated with physical activity as assessed by the IPAQ.

## VII. Abreviaturas y acrónimos.

ACSM .....	American College of Sports Medicine
AF .....	Actividad física
AHA .....	American Heart Association
ANOVA.....	Análisis de la varianza
BMC .....	Contenido mineral óseo, del inglés “bone mineral content”
BMD .....	Densidad mineral ósea, del inglés “bone mineral density”
CDC.....	Centro para el Control y Prevención de Enfermedades, del inglés “Centre for Disease Control and Prevention”
CMJ.....	Salto con contramovimiento, del inglés “countermovement jump”
CSEP .....	Canadian Society for Exercise Physiology
DXA.....	Absorciometría fotónica dual de rayos x, del inglés “dual X-ray absorciometry”
EES .....	Error estándar de las estimaciones (del inglés SEE Standar Error of Estimates)
ES .....	Error estandar de las estimaciones.
EUROFIT .....	Test Europeo de Aptitud Física, del inglés “European Fitness Test”
FC .....	Frecuencia cardiaca
FCmax.....	Frecuencia cardiaca máxima
FCR:.....	Frecuencia cardiaca de reserva
FIMax .....	Fuerza isométrica máxima
GE .....	Gasto energético
IMC .....	Índice de masa corporal
IOTF .....	International Obesity Task Force
mts.....	Metros
min.....	Minutos
MLSS.....	Maximal Lactate Steady State
MET .....	Metabolic equivalent
O <sub>2</sub> .....	Oxígeno
OMS .....	Organización Mundial de la Salud
ppm .....	Pulsaciones por minuto
PWC.....	Capacidad física de trabajo, del inglés “Physical Working Capacity”
R <sup>2</sup> .....	Coefficiente de determinación (regresión lineal)
RM .....	Máximo de repeticiones

rpm .....	Revoluciones por minuto
SJ .....	Salto en semisentadilla, sin contramovimiento, del inglés “squat jump”
Vmax .....	Velocidad máxima
VO <sub>2</sub> .....	Consumo de oxígeno
VO <sub>2</sub> max .....	Consumo máximo de oxígeno
WHO-EU.....	World Health Organization – European Region

**(1)**

---

**INTRODUCCIÓN**

---

La actividad física insuficiente, la obesidad y un bajo nivel de condición física cardiorrespiratoria han sido vinculadas a numerosas enfermedades crónicas y mortalidad prematura (U.S. Department of Health and Human Services 1996). Consecuentemente, la promoción de la actividad física regular ha sido reconocida como uno de los pilares de la estrategia mundial de salud pública contra el avance de las enfermedades crónicas (World Health Organization 2004a).

La evaluación de la actividad física cotidiana es un aspecto crucial para aclarar cómo la actividad física puede influenciar la salud presente y futura. Se han utilizado diversos procedimientos para evaluar la actividad física, incluyendo metodologías observacionales, cuestionarios bajo la forma de diarios, cuestionarios retrospectivos basados en el recuerdo y la memoria, así como diversas técnicas basadas en el registro de movimientos (acelerómetros), frecuencia cardíaca (pulsómetros) y gasto energético (calorimetría y agua doblemente marcada) (Westerterp 2009).

Los cuestionarios de actividad física han sido el procedimiento más usado, sin embargo su fiabilidad y validez es moderada o baja (Boon et al. 2008; Maddison et al. 2007; Shephard 2003). La validez de la mayor parte de los cuestionarios ha sido establecida usando técnicas de evaluación de la cantidad de gasto energético, tal como el agua doblemente marcada (Bratteby et al. 1997; Philippaerts et al. 1999) y la frecuencia cardíaca (Elosua et al. 1994); pero también determinando si hay una correspondencia matemática entre los datos que ofrece el cuestionario y los efectos esperados de una vida activa sobre variables relacionadas con la condición física, como el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2$  max) (Bonney et al. 1996; Roeykens et al. 1998) y la composición corporal (Washburn y Montoye 1986). Otros aspectos de la condición física, como la fuerza y potencia muscular han sido bastante ignorados.

Un grupo de consenso internacional, reunido en 1998 en Génova desarrolló el Internacional Physical Activity Questionnaire con la finalidad de avanzar en la comparabilidad de datos transnacionales. Dicho cuestionario tiene una buena fiabilidad (Craig et al. 2003; Kurtze et al. 2008; Mader et al. 2006; Papathanasiou et al. 2009) y ha sido validado contra medidas directas de actividad física mediante acelerometría (Boon et al. 2008; Craig et al. 2003; Kurtze et al. 2008; Mader et al. 2006) y agua doblemente marcada (Maddison et al. 2007). Un mayor nivel de actividad física debería corresponderse con mejores índices de

“fitness” (Saltin y Rowell 1980; Stofan et al. 1998), incluyendo fuerza muscular y potencia (Paalanne et al. 2009). Hasta la fecha, ningún estudio único ha determinado qué componentes de la condición física están asociados con el nivel de actividad física evaluado con la versión corta del IPAQ. Esta información es importante para definir qué aspectos de la condición física pueden estar influenciados por la actividad física diaria evaluada con cuestionarios generales, como el IPAQ.

Una falta de asociación parcial o total entre los componentes de la condición física con los datos de la versión corta del IPAQ podría indicar que la condición física no está influenciada por la actividad física o que el IPAQ no es lo suficiente sensible para detectar la influencia de la actividad física sobre algunos componentes de la condición física, incluyendo la composición corporal.

Por lo tanto, el principal objetivo de esta tesis fue determinar si existe una relación entre la actividad física evaluada con la versión corta del IPAQ y los componentes musculares y cardiorrespiratorios de la condición física (“physical fitness”). Otro objetivo fue determinar si la potencial asociación entre la actividad física y alguno o varios de los componentes de la condición física fueran explicables por el nivel de adiposidad. Dado que un nivel reducido de actividad física está asociado con la acumulación de masa grasa y ésta tiene una influencia negativa en los test de condición física, nuestra hipótesis es que la adiposidad podría explicar parte o la mayor parte las asociaciones encontradas entre la actividad física y la condición física en hombres saludables.



**(2)**

---

**ANTECEDENTES**

---

## 2.1 Obesidad

### 2.1.1. Definición de sobrepeso y obesidad.

La obesidad a menudo se aborda como una condición o estado antropométrico, sin embargo se trata de un proceso dinámico caracterizado por la acumulación de adiposidad en el cuerpo. La información que generalmente capturamos de ese proceso son categorías del estatus ponderal: normopeso, sobrepeso tipo I, sobrepeso tipo II, obesidad y obesidad mórbida. El sobrepeso y la obesidad son estadios avanzados en el proceso de cambios en el estatus ponderal.

El sobrepeso y la obesidad usan como criterio operacional el índice de masa corporal (IMC) (Bellizzi y Dietz 1999). El IMC es un constructo antropométrico y se calcula dividiendo el peso o masa corporal (en kg.) por la talla (expresada en metros y elevada al cuadrado), tal que  $IMC = \text{peso} / \text{talla}^2$ . Un adulto sufre sobrepeso si su  $IMC \geq 25$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y obesidad si su  $IMC \geq 30$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Por lo tanto, el diagnóstico de sobrepeso incluye tanto a personas que sólo tienen sobrepeso como a personas que tienen obesidad. En el caso de los niños, estos criterios no se pueden aplicar, ya que el IMC varía durante el crecimiento. Para resolver este problema se optó por usar tablas estandarizadas representativas de la población y definir como puntos de corte de IMC para sobrepeso y obesidad, utilizando como criterio el percentil 85 y 95, respectivamente, específico para cada edad, sexo y talla. Como la adiposidad de la población infantil ha ido en aumento durante los últimos 20 años, se ha decidido utilizar tablas desarrolladas hace 10 o 20 años. No obstante, existe incertidumbre acerca de la validez de estos puntos de corte en los niños.

Para resolver estos problemas en 1999 un comité de expertos constituyó la International Obesity Task Force (IOTF) y determinó que a pesar de que el IMC no es la medida ideal para medir la adiposidad, podía ser utilizado para definir sobrepeso y obesidad en niños (Bellizzi y Dietz 1999). Como no está claro en niños a qué nivel del IMC aumenta el riesgo para la salud, este panel de expertos decidió establecer como punto de corte para los diagnósticos de sobrepeso y obesidad aquellos estadísticamente equivalentes a los puntos de corte usados en los adultos para sobrepeso ( $IMC=25$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y obesidad ( $IMC=30$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Para ello, utilizaron datos de 6 poblaciones de referencia diferentes (Gran Bretaña, Brasil, Holanda, Hong Kong, Singapur y USA). Con estos datos, Cole y col. (Cole et al.

2000) derivaron las curvas con sus percentiles correspondientes que pasan a través de los puntos de IMC de 25 y 30 a los 18 años (figura 1). Todo ello resulta en unos puntos de corte específicos para la edad y el sexo que definen el sobrepeso y la obesidad. Las tablas recomendadas por Cole y col. son útiles para la investigación epidemiológica en la que los niños son categorizados como no-sobrepeso, sobrepeso y obesos utilizando para ello una herramienta estándar sencilla. Los puntos de corte fueron desarrollados utilizando tablas de datos diversas que representan valores de referencia internacional para poder comparar niños/poblaciones en todo el mundo. No obstante, uno de los problemas de utilizar el IMC basándose en las tablas por sexo y edad es que no se tiene en cuenta el grado de maduración sexual. El IMC en los niños puede aumentar cuando incrementan su masa muscular bajo la influencia de la testosterona, sin que ello deba ser confundido con una ganancia de masa grasa.

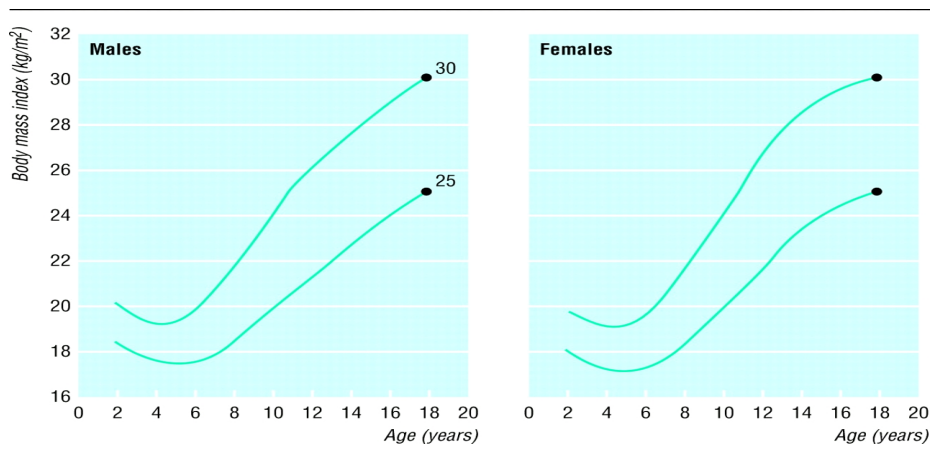


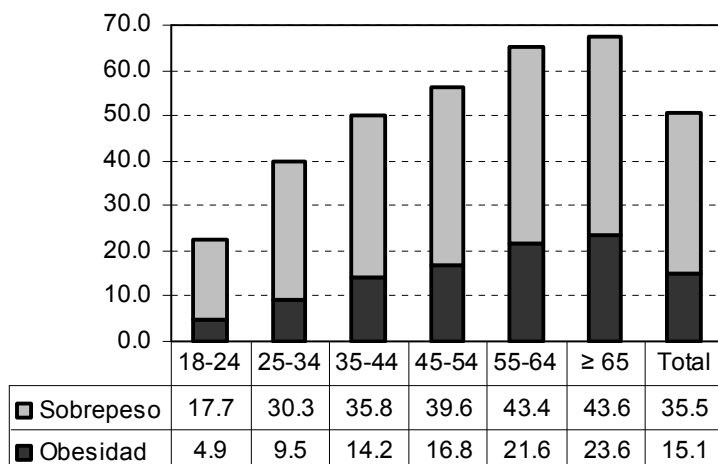
Figura 1. Tablas de Cole y col. que establecen los puntos de corte del IMC para sobrepeso y obesidad (Criterio IOTF) (Cole *et al.*, 2000).

### 2.1.2. Prevalencia y evolución de la obesidad.

En general hay una escasez de datos epidemiológicos longitudinales en relación a la obesidad, en particular en España y sus regiones. Sin embargo, los datos acumulados en las dos últimas décadas en diferentes países y continentes permiten una visión bastante fiable sobre la magnitud nacional e internacional de la obesidad (su prevalencia) y su tendencia.

### 2.1.2.1. Adultos.

Usando los datos de la Encuesta Europea de Salud de 2009 (INE, 2011, <http://www.ine.es>) se ha observado que la mitad de los adultos españoles padecen sobrepeso-obesidad (figura 2). No obstante, los diversos grupos de edad presentan amplias diferencias de sobrepeso-obesidad. En los colectivos de mayor edad, a partir de los 55 años, la tasa de sobrepeso-obesidad se elevó por encima del 60%.

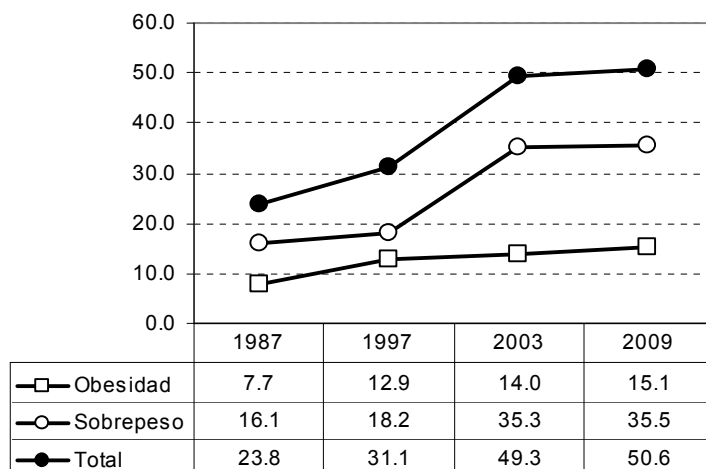


**Figura 2. Distribución del sobrepeso y obesidad por grupos de edad en adultos españoles (2009; ≥18 años).**

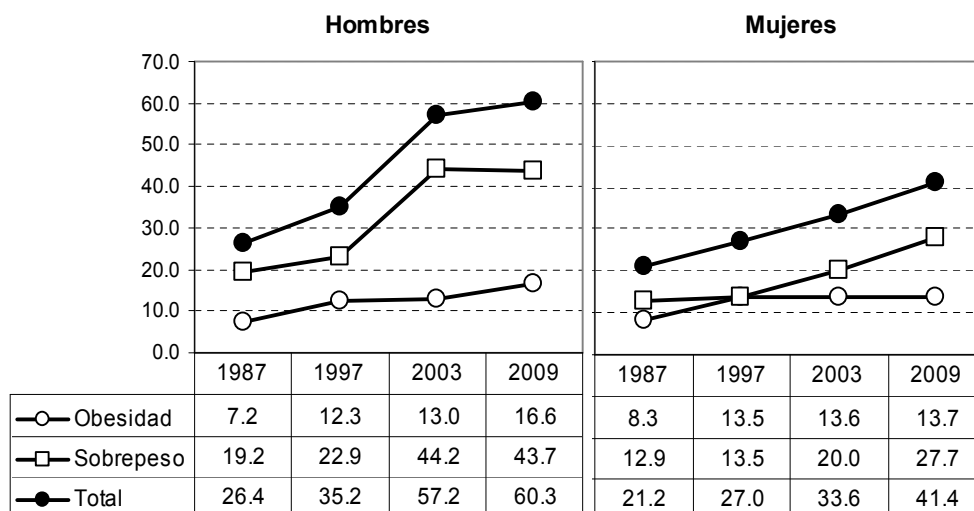
*Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la Encuesta Europea de Salud elaborada por el INE (2009)*

En España, el sobrepeso y obesidad ha seguido una tendencia de aumento sostenido desde 1987, hasta duplicar o casi duplicar la prevalencia de la obesidad y el sobrepeso en 2009. El total de la sobrecarga ponderal ha pasado de un 23.8% en 1987 hasta un 50.6% en 2009. Hay que considerar que el grupo de mayores de 65 años probablemente esté infraestimado y requeriría indicadores específicos de sobrepeso y obesidad, al igual que los niños y jóvenes, debido a la sarcopenia asociada a este grupo de edad. En el estudio EXERNET se estimó que un 15% de los adultos españoles mayores de 65 años presentaban obesidad sarcopénica (masa magra reducida y masa grasa aumentada) (Gomez-Cabello et al. 2011). En dicho estudio EXERNET la prevalencia de sobrepeso-obesidad en los adultos mayores de 65 años se estimó en un 84% sensiblemente más alto que

en la encuesta europea, sin embargo las medidas antropométricas del estudio EXERNET (estadiómetro portátil y analizador de impedancia bioeléctrica) fueron más fiables que las medidas del estudio europeo (cuestionario de talla y peso).



**Figura 3. Evolución del sobrepeso y obesidad en adultos españoles ( $\geq 18$  años).** Fuente: *Gutierrez-Fisac, JL, et al., (2000, 2006)*  
Los datos de 2009 son extraídos de la Encuesta Europea de Salud

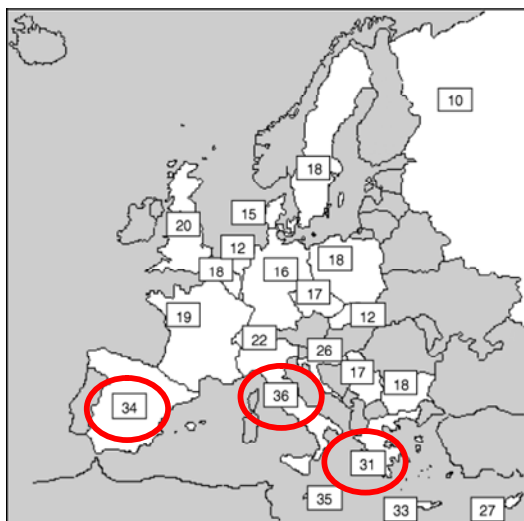


**Figura 4. Evolución del sobrepeso y obesidad en hombres y mujeres españoles adultos ( $\geq 18$  años).** Fuente: *Gutierrez-Fisac, JL, et al., 2000, 2006.* Los datos de 2009 son extraídos de la Encuesta Europea de Salud elaborada por el INE

El mayor aumento en la sobrecarga ponderal de los adultos españoles entre 1987 y 2009 se ha producido principalmente en el sobrepeso, pasando del 19% al 43% en hombres y del 12% al 27% en mujeres (figura 4). Considerando ambos estatus conjuntamente (obesidad y sobrepeso), el mayor aumento se produjo en los hombres que pasaron del 26% (1987) al 60% (2009) (figura 4), mientras que las mujeres el aumento fue del 21% al 41%.

### 2.1.2.2. Niños y jóvenes

En la figura 5 se presentan valores de prevalencia de sobrepeso-obesidad infantil en Europa usando los criterios estandarizados de la IOTF. En Europa, el sobrepeso-obesidad infantil (7-11 años) mantiene en la actualidad una prevalencia entre el 10-36%.



**Figura 5. Prevalencia de sobrepeso-obesidad (en porcentaje) en niños de 7 a 11 años de edad en varios países europeos (1990-2002).**

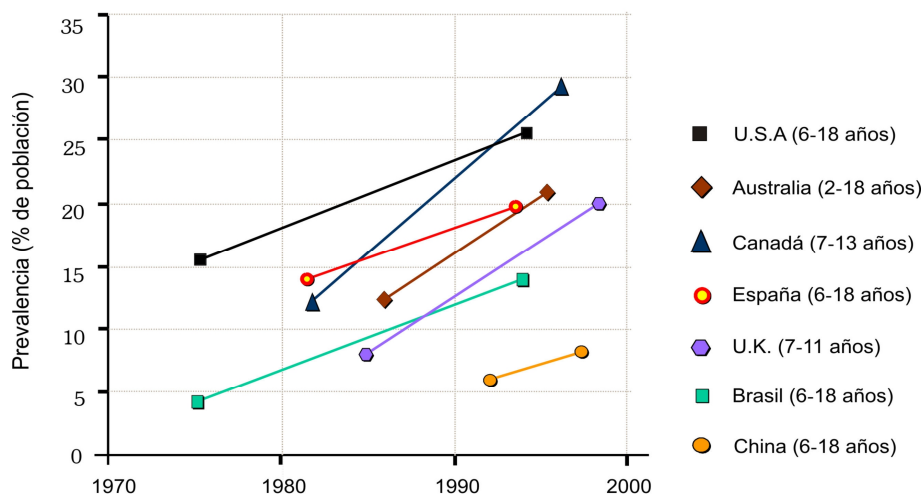
El sobrepeso se definió con criterios IOTF (Lobstein y Frelut 2003). En círculo rojo se ha enmarcado algunos países mediterráneos donde supuestamente se sigue la dieta mediterránea.

El aumento de la prevalencia de obesidad a través del tiempo es notorio desde la década de los años setenta. En el plazo de 10 años se han constatado incrementos de la prevalencia de obesidad comprendidos entre el 50% y el 100% en países como EEUU y Japón. En Inglaterra, la tendencia del sobrepeso y obesidad conjunta, en niños de 7 a 11 años, ha aumentado un 400% en 27 años, pasando de un 7% en 1974 a un 27% en 2001 (Lobstein et al. 2004).

En Europa se ha estimado un crecimiento global de la obesidad (todas las edades) del 2.3% en mujeres y de un 2.4% en hombres para el quinquenio (2006-2010). Para los niños se ha constatado un crecimiento preocupante. En la década de los 70 el aumento anual era de 0.2%, en los años 80 de 0.6% y en los años 90 de 0.8% al año y en algunos casos ha alcanzado valores del 2% anual (World Health Organization, 2005). Son cifras alarmantes porque supone un crecimiento anual entre 10.000 y 20.000 jóvenes al año por cada millón (entre un 1-2% anual).

En España, los datos transversales de obesidad y sobrepeso en niños y jóvenes (2-24 años, n=3534), evaluados a través del estudio Enkid (Serra Majem et al. 2003) mostraron cifras del 13.9% de obesidad y del 26.7% de sobrepeso y obesidad conjuntamente (12.8% de sobrepeso). No obstante, la prevalencia del sobrepeso-obesidad resultó ser aún mayor en el grupo de alumnos de la enseñanza primaria (6 a 13 años), alcanzando una prevalencia ligeramente por encima del 30%. Por regiones, la comunidad gallega alcanzó cifras del 25% de sobrepeso-obesidad, ocupando una posición intermedia entre el conjunto de las comunidades españolas, liderada por Canarias (32.8% de sobrepeso-obesidad), cerrando el grupo con Cataluña (21.8 % de sobrepeso-obesidad). Otro estudio realizado con niños de 9-10 años de la provincia de Cuenca constató un aumento de la prevalencia conjunta de sobrepeso-obesidad del 12.2% entre 1992 (18.6%) y 2004 (30.8%) (Martínez Vizcaíno et al. 2006).

Los datos españoles son congruentes con los ofrecidos por la propia OMS a través de su región europea (WHO-EU) con niños de 7-11 años, que sitúa a España como el tercer país europeo con mayor prevalencia de sobrepeso-obesidad, con un 34% en el grupo de edad indicado (Lobstein et al. 2004; World Health Organization 2004b). Otros estudios transnacionales recientes (Cattaneo et al. 2009), con niños de edad preescolar (1-4 años), confirman a España como uno de los tres primeros países que lideran la prevalencia del sobrepeso-obesidad infantil en el conjunto de la Unión Europea, con valores comprendidos entre el 29.7% (niños de 2 años) al 33.2 % (niños de 4 años), usando los puntos de corte de la IOTF. La posición española en relación a la obesidad infantil no cambia sustancialmente usando los puntos de corte de la OMS (Cattaneo et al. 2009). En la figura 6 se representa la evolución del sobrepeso-obesidad infantil en varios países.



**Figura 6. Tendencias en la evolución de la prevalencia de sobrepeso y obesidad infantil y juvenil en varios países**

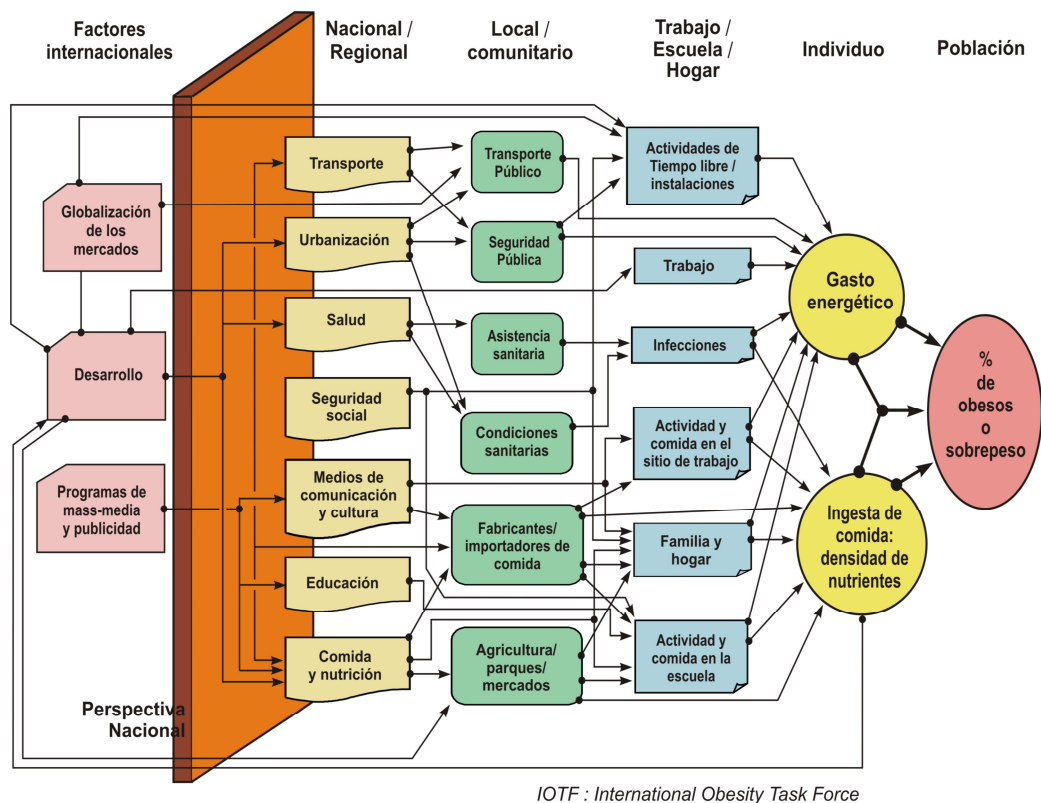
Fuente: Lobstein et al., 2004

### 2.1.3 Causas de la obesidad.

Cada vez existe mayor evidencia de que la obesidad se origina en la infancia, incluso antes del nacimiento, en la etapa de gestación (Muhlhausler, 2007). La obesidad no es una patología específica de los adultos y aunque se da con mayor incidencia en este colectivo, las causas de la obesidad tienen su origen por lo general en las primeras etapas de la vida. Guo y Chumlea (1999) constataron que el riesgo de desarrollar obesidad adulta a la edad de 35 años, en niños de edad superior a 9 años que ya eran obesos, era de un 80%. Adicionalmente, se ha comprobado que los niños obesos menores de tres años con padres de peso normal tienen escaso riesgo de convertirse en adultos obesos, pero en niños obesos mayores de 3 años el riesgo de convertirse en adultos obesos aumenta mucho y empeora con la edad del niño, independientemente de que los padres sean o no obesos. Si los padres son obesos, el riesgo relativo de que sus hijos menores de 10 años (obesos o de peso normal) se conviertan en adultos obesos se duplica (Whitaker et al. 1997).



La obesidad constituye un problema de salud complejo por la multitud de factores implicados y las intrincadas interrelaciones que estos factores mantienen entre sí (figura 7).



**Figura 7. WEB causal de influencias sobre la obesidad de la IOTF**

Desde una perspectiva individual, la obesidad depende en primer lugar de factores genéticos, que juegan un papel importante, así como del ambiente nutricional y hormonal que experimenta el feto durante el desarrollo embrionario, de la lactancia, ya que los niños que no reciben lactancia materna tienen mayor riesgo de obesidad infantil y adulta, de la ganancia de peso durante los dos primeros años de edad, de la alimentación, de la actividad física, inactividad y del tiempo frente a pantallas.

### 2.1.3.1 Predisposición genética.

Estudios realizados con gemelos monozigóticos han demostrado que el componente genético juega un papel muy importante en la predisposición a la obesidad en la niñez (Silventoinen et al. 2010). Varios estudios con gemelos llevados a cabo por el grupo de Tremblay y Bouchard (2004) en los que sometieron a grupos de gemelos a una ingesta energética superior a sus necesidades (exceso de 1000 kcal/día) durante 22 o 100 días demostraron que había parejas de gemelos monozigóticos que ganaban peso con relativa facilidad mientras que otras parejas parecían ser resistentes a la ganancia de peso, es decir, el efecto de la sobrealimentación estuvo modulado por la dotación genética de los participantes (Tremblay et al. 2004). Esta predisposición genética a la ganancia de grasa con la sobrealimentación fue aún más acusada en la región abdominal y para la grasa visceral. Es importante señalar, que la tendencia a ganar grasa visceral, independientemente de la ganancia de grasa corporal total mostró también predisposición genética (Tremblay et al. 2004).

Igualmente, dichos autores demostraron que la eficacia del déficit energético (producido por ejercicio o dieta) para provocar disminución de peso depende también en parte de factores genéticos. Asimismo, la mejora en la condición física conseguida con un programa de entrenamiento también depende de factores genéticos (Bouchard y Rankinen 2001). No obstante, la identificación de genes concretos cuya presencia predisponga a la obesidad ha sido decepcionante hasta recientemente en que usando técnicas de muestro de alto rendimiento se descubrió el primer gen que predispone a la obesidad infantil y adulta, denominado en inglés the fat mass (FM) and obesity-associated (FTO) gene, es decir el gen asociado a la masa grasa y a la obesidad (Frayling et al. 2007; Scott et al. 2007; Zeggini et al. 2007). Un 16 % de los adultos (de un total de 38,759) que eran monozigóticos para el alelo de riesgo pesaron cerca de 3 kg más y mostraron un riesgo de obesidad de 1.67 veces superior a la población general. El efecto también se observó en los portadores de solo un alelo (heterocigotos) que pesaron entre 1 y 2 kg más. Esta influencia del gen FTO ha sido observada a partir de la segunda semana de vida (Lopez-Bermejo et al. 2008).

Se ha estimado que entre un 20 y un 50 % de la población europea (especialmente caucásicos) tiene riesgo de obesidad debido al gen FTO (Gonzalez-Sanchez et al. 2009; Loos y Bouchard 2008; Rendo et al. 2009). No

obstante, la asociación FTO-obesidad no se observa o es más débil en sujetos físicamente activos (Andreasen et al. 2008; Rampersaud et al. 2008) o en los que siguen una dieta mediterránea (Razquin et al. 2010). Es importante señalar que la pérdida de peso con un programa de ejercicio aeróbico de 20 semanas de duración fue de un 4% en el grupo sin alelos FTO de riesgo y de sólo un 0.1% en el grupo de sujetos homocigotos para el alelo FTO de riesgo (Rankinen et al. 2010). El gen FTO codifica una desmetilasa de ácidos nucleicos dependiente de 2-oxoglutarato, que se expresa en múltiples tejidos, incluidas regiones cerebrales con funciones reguladoras del metabolismo basal (Gerken et al. 2007; Stratigopoulos et al. 2008). Además se ha constatado una menor actividad lipolítica en las células adiposas de los humanos con el alelo FTO de riesgo (Wahlen et al. 2008). Se desconoce el efecto que tiene el ejercicio en la función y expresión de la desmetilasa de ácidos nucleicos dependiente de 2-oxoglutarato.

A pesar de que el componente genético es un factor importante a la hora de explicar y comprender la obesidad, los cambios tan rápidos en el número de obesos dentro de una población relativamente estable indican que los factores genéticos no son la principal causa de este cambio {Lobstein, 2004 #541}. La influencia del entorno queda de manifiesto al estudiar a sujetos que se desplazan o emigran a países industrializados y que desarrollan en ese lugar de destino tasas de obesidad mayores que en sus respectivos países de origen (Popkin y Udry 1998). Finalmente, el coeficiente de inteligencia (IQ), que también depende de factores genéticos, se asocia inversamente a la obesidad en la edad adulta, de tal manera que los niños de 11 años con valores de IQ más bajos resultaron tener un IMC más elevado a los 42 años de edad (Chandola et al. 2006).

En resumen, en la mayoría de los niños, los genes que predisponen al sobrepeso se expresan si el entorno lo permite y favorece. La clave en la lucha contra la obesidad está en conseguir que el ambiente no facilite la expresión de dichos genes.

### **2.1.3.2 Durante el embarazo.**

Existe evidencia experimental (en animales) y epidemiológica (en humanos) que asocian la sobrealimentación materna y la exposición excesiva del feto a nutrientes con la obesidad infantil y adulta (Muhlhausler 2007). La existencia

de diabetes materna, o la aparición de diabetes gestacional o simplemente intolerancia a la glucosa durante el embarazo hace que el feto sufra hiperglucemia (aumento de la concentración de glucosa en sangre), hiperinsulinemia (aumento de la concentración de insulina en sangre) e hiperleptinemia (aumento de la hormona leptina en sangre) durante la fase final de su desarrollo y que al nacer tenga una mayor masa grasa (Tapanainen et al. 2001). Estos niños tienen mayor riesgo de desarrollar obesidad en la infancia y en la edad adulta (Plagemann et al. 1997; Silverman et al. 1991).

El bajo peso al nacer también se ha asociado a numerosas enfermedades, entre ellas diabetes tipo II, enfermedad cardiovascular, síndrome metabólico, marcadores de inflamación y hipertensión (Cripps et al. 2005; Labayen et al. 2009). El mecanismo fisiopatológico no está claro, aunque se ha propuesto que podría ser debido a que los neonatos con bajo peso al nacer han sufrido durante el desarrollo embrionario mayor estrés oxidativo e inflamación, haciendo que al nacer ya tengan disfunción endotelial (Leduc et al. 2010). La reducción de la alimentación materna en la fase final de la gestación y durante la lactancia disminuye la incidencia de obesidad en la edad adulta (Cripps et al. 2005).

### **2.1.3.3 Lactancia Materna**

Los primeros años de la vida son críticos de cara a la prevención de la obesidad (Krebs y Jacobson 2003). Kramer (1981) fue el primero en comunicar una relación entre lactancia materna y un menor riesgo de sobrepeso y obesidad entre los 12 y 18 años de edad. Estudios posteriores han comunicado esta asociación incluso en niños de sólo tres años de edad (Armstrong y Reilly 2002), en adolescentes (Gillman et al. 2001) y en adultos (Victora et al. 2003). Esta asociación es más fuerte cuando la lactancia materna es exclusiva y cuanto más dura (Bogen et al. 2004; Gillman et al. 2001), idea defendida en varias revisiones y meta-análisis (Arenz et al. 2004; Harder et al. 2005; Owen et al. 2005). Un estudio de revisión de 19 investigaciones bien controladas llega a la conclusión que los niños que fueron amamantados durante 9 meses pesaron unos 400 gramos menos que los niños alimentados con fórmulas al final del primer año (Dewey 1998). Después de 12 meses de lactancia materna la diferencia con el grupo alimentado con fórmulas alcanza 600-650 gramos (Dewey 1998). La mayor ganancia de peso de los niños alimentados con fórmulas no se debía a un mayor

crecimiento en longitud (ibid). El periodo comprendido entre los 3 y los 6 meses de edad es el más sensible al tipo de alimentación (Kramer et al. 2004). Parece que cuando se controlan adecuadamente los factores que podrían causar confusión, la masa ganada en exceso por los niños sometidos a alimentación con fórmulas es esencialmente masa grasa (Dewey et al. 1993).

Esta asociación entre lactancia materna y menor ganancia de adiposidad podría ser debida a un mecanismo causal o a una causa indirecta no relacionada con la lactancia *per se* (Wadsworth et al. 1999). Generalmente las mujeres que amamantan a sus hijos más tiempo tienen mejor nivel cultural, estatus socioeconómico, tienen más edad y reciben más soporte social. Factores, estos últimos, que también se asocian a un estilo de vida más saludable, es decir a la práctica de más actividad física y al seguimiento de una dieta más sana. El estudio de pares de gemelos que comparten ambientes familiares, culturales y socioeconómicos similares, pero que han sido sometidos a lactancias de diferente duración han comunicado resultados contrapuestos (Gillman et al. 2006; Nelson et al. 2005).

Estudios de intervención como el estudio PROBIT (The Promotion of Breastfeeding Intervention Trial) en el que se asignaron de forma aleatoria a los niños a lactancia materna prolongada y grupo control no observaron efectos de la duración de la lactancia en el peso, talla, adiposidad y presión arterial a los 6.5 años de edad (Kramer et al. 2007). No obstante, la leche materna contiene numerosos factores bioactivos capaces de influir en el crecimiento como inmunoglobulinas, células vivas, enzimas, hormonas hipofisarias, hormonas esteroides, citoquinas, quimioquinas, péptidos intestinales y cerebrales y factores de crecimiento, que no están presentes en las fórmulas comerciales y que podrían explicar, en parte la protección que confiere la lactancia materna frente a la obesidad (Hamosh 2001; Savino y Liguori 2008). La leptina, cuya concentración en plasma es proporcional a la masa grasa y que actúa produciendo saciedad, se encuentra presente en la leche materna y alcanza concentraciones mayores en plasma de los lactantes sometidos a lactancia materna que en los alimentados con fórmulas (Savino, 2008). De hecho existe una correlación negativa entre los niveles de leptina en la leche materna y la ganancia de peso durante la infancia (Dundar et al. 2005; Miralles et al. 2006). En cambio, las fórmulas tienen una mayor proporción de proteínas/por Kcal y un mayor cociente de ácidos grasos

omega-6/omega-3 y ambos factores promueven un mayor crecimiento en los niños alimentados con fórmulas comparados con los niños amamantados.

#### **2.1.3.4. Ganancia rápida de peso durante los dos primeros años de edad.**

La mayoría de los estudios y revisiones indican que la ganancia rápida de peso durante los dos primeros años de vida aumenta el riesgo de obesidad en la adolescencia y en la edad adulta (Baird et al. 2005; Monteiro y Victora 2005) en un factor de 2-3 veces superior. Asimismo, se ha estimado que un 30% de las obesidades detectadas a los 20 años de edad podrían estar relacionados con un crecimiento rápido durante los primeros cuatro meses de vida, definiendo el crecimiento rápido como un incremento superior en una desviación estándar en la puntuación Z de peso correspondiente para la edad (Stettler et al. 2003). En general, el crecimiento rápido se define como un valor puntuación Z del incremento de peso superior a 0.67 (es decir, una desviación estándar por encima de la media, siendo la media por definición 0 desviaciones estándar) con respecto al valor correspondiente a su edad (Monteiro y Victora 2005). No obstante, es necesario definir mejor cuál a partir de qué velocidad de crecimiento de peso se puede hablar de crecimiento rápido (Ong y Loos 2006). Además hay que considerar que sólo 1 de cada 5 niños con crecimiento rápido van a ser luego niños con sobrepeso u obesidad (Toschke et al. 2004).

#### **2.1.3.5. Cambios en la alimentación.**

La conducta alimentaria y la composición de los alimentos ingeridos han cambiado en las últimas décadas. Ha disminuido el consumo de productos naturales, se ha abandonado la dieta mediterránea tradicional y ha aumentado el consumo de alimentos con “alta densidad” energética, ricos en grasas. Una mayor proporción de calorías procedentes de las grasas en la alimentación se ha asociado con mayor adiposidad, especialmente cuando la actividad física es baja (Bray et al. 2004). Asimismo, se ha producido un aumento del consumo de azúcares refinados, de alto índice glucémico, en parte en forma de bebidas azucaradas, lo que aumenta el riesgo de acumular grasa y desarrollar diabetes tipo 2 (Libuda y Kersting 2009; Malik et al. 2006; Nissinen et al. 2009).

También ha aumentado el consumo de alimentos elaborados con ácidos grasos trans, obtenidos por hidrogenación de aceites vegetales y que se hayan presentes en comidas precocinadas y en productos de repostería. Los ácidos grasos trans son especialmente perjudiciales y aumentan el riesgo cardiovascular, producen inflamación sistémica, disfunción endotelial, resistencia a la insulina, acumulación de grasa visceral, diabetes, arritmias e incluso se han asociado a la muerte súbita (Teegala et al. 2009; Wallace y Mozaffarian 2009). Igualmente se ha producido un aumento del consumo de comidas rápidas (fast food), que también se han asociado a mayor adiposidad (Summerbell et al. 2009). Otro factor que se ha asociado a mayor prevalencia de obesidad es el aumento de la frecuencia de comidas fuera de casa, especialmente de fritos (Taveras et al. 2005). Los niños que no desayunan tienen mayor IMC (Affenito et al. 2005) mientras que el consumo de cereales en el desayuno se ha asociado a menor IMC (Barton et al. 2005). Asimismo, los niños que del total diario de calorías consumen un mayor porcentaje de calorías por la tarde/noche presentan mayor adiposidad que aquellos que distribuyen las calorías a lo largo del día (Thompson et al. 2006). El picoteo entre comidas se ha asociado a mayor IMC cuando uno de los padres tiene un IMC de 25 o más (O'Loughlin et al. 2000).

#### **2.1.3.6. Actividad física, inactividad y tiempo frente a pantallas.**

Tanto el grado de actividad física como la condición física de la población infantil han disminuido en las últimas décadas, al tiempo que han aumentado las horas dedicadas a actividades sedentarias (ordenadores y televisión, principalmente). La práctica regular de actividad física se asocia a una mejor condición física, menor masa grasa y mayor masa ósea y densidad mineral ósea en los niños prepúberes y postpúberes. Los niños con mayor masa grasa rinden peor en los tests de condición física. Aproximadamente entre un 20 y 40% de la pérdida de rendimiento deportivo de los niños con mayor grasa corporal se puede atribuir al exceso de peso originado por la grasa corporal en sí misma, mientras que el resto es explicable por la menor actividad física de los niños con mayor masa grasa corporal (Ara et al. 2004). O'Loughlin y col estudiaron a 15,000 niños canadienses y observaron que los niños menos activos experimentaron mayores incrementos de IMC (O'Loughlin et al. 2000).

En un estudio longitudinal de 173 niñas de 8 a 12 años de edad seguidas hasta 4 años después de la menarquia, se observó que el cambio longitudinal del porcentaje de grasa corporal correlacionó inversamente (o sea perdieron grasa corporal) con la actividad física y positivamente con la inactividad, medidas como el número de horas en que las niñas estaban dormidas, sentadas o de pie (sin desplazarse). Esta asociación entre inactividad física y mayor acumulación de grasa fue más intensa en las niñas con al menos un progenitor con sobrepeso u obesidad (Must et al. 2007). Datos obtenidos a partir del Framingham Children's Study, en niños entre los 4 y los 11 años de edad, demostraron que los niños en el tercil superior de actividad física acumularon menos grasa corporal (Moore et al. 2003)

En la población infantil de Gran Canaria hemos constatado que los niños que participan en actividades deportivas extraescolares (al menos 3 horas semanales) presentan un 30% menos de masa grasa corporal y de grasa en la región del tronco que los niños que no practican deportes (Ara et al. 2004). Además, los niños que siguen practicando deportes a lo largo del crecimiento mantienen estable su porcentaje de grasa corporal (Ara et al. 2006). Resultados similares han sido comunicados en otros estudios, por lo que la evidencia a favor de los efectos protectores frente al riesgo de obesidad que tiene la práctica de actividad física en la infancia es muy sólida (Must et al. 2009)

La inactividad no es meramente el recíproco de la actividad, ya que se puede dar en un mismo niño valores elevados de ambos (Must et al. 2009). Tal sería el caso por ejemplo de un niño que practica una hora diaria de deporte extraescolar, pero que luego pasa 5 horas diarias frente a pantallas. El tiempo delante de pantallas, especialmente el dedicado a la televisión, se ha asociado con mayor adiposidad en múltiples estudios (Proctor et al. 2003).

La influencia negativa de la televisión no sólo obedece a la falta de actividad física sino también a la exposición de anuncios que incitan a la ingestión de alimentos (Must *et al.*, 2009), ya que varios estudios han demostrado que la exposición a anuncios de alimentos se relaciona con un aumento del consumo de los alimentos anunciados (Robinson 1999; Taras et al. 1989).



Por otro lado, el consumo de energía durante la práctica de videojuegos es mucho mayor que en sedestación, leyendo o viendo la televisión (Segal y Dietz 1991), especialmente cuando se trata de videojuegos activos en que los niños juegan de pie (Mellecker y McManus 2008). El efecto perjudicial del número de horas delante de la televisión podría ser mayor para las niñas que para los niños, tal vez porque las niñas picotean más que los niños (Crespo et al. 2001) o debido al tipo de publicidad televisiva al que están expuestas las niñas, más interesadas en comedias frente a los niños más interesados en programas de deportes (Must et al. 2009). Aunque durante el sueño el gasto energético es mínimo, la duración del sueño se asocia también a la adiposidad, tal que los niños que duermen menos horas presentan mayor adiposidad (Chen et al. 2008; Must y Parisi 2009). Finalmente, el ejercicio parece contribuir a mejorar la regulación del apetito (Martins et al. 2008), lo que podría explicar porqué los programas de adelgazamiento que incluyen ejercicio son más eficaces para mantener en el tiempo la pérdida de peso.

#### **2.1.4. Influencia de la obesidad en la salud actual y futura**

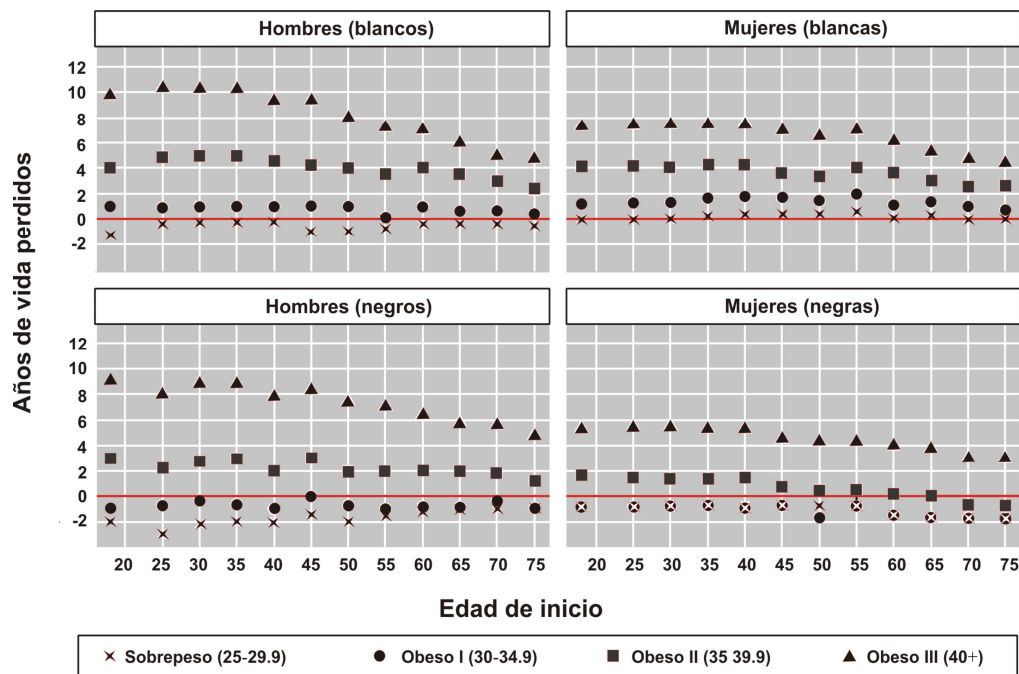
Aunque la salud de la población ha mejorado en las últimas décadas, el aumento experimentado en la prevalencia de obesidad (Wang y Dietz 2002; Wang y Lobstein 2006) supone un reto presente y futuro que conlleva importantes costes socioeconómicos a nivel global (James 2006). En los adultos, la obesidad se ha asociado a síndrome metabólico, diabetes tipo 2, dislipemia, hipertensión, enfermedades coronarias, múltiples alteraciones neuro-endocrinas, algunos tipos de cáncer (endometrial, ovárico, de mama, cervix, próstata, colorectal, pancreático, hepático, renal y vesícula biliar), alteraciones hepáticas (niveles aumentados de transaminasas por esteatosis hepática) y gastrointestinales (reflujos), colestiasis, artrosis y complicaciones ortopédicas en rodillas, apnea del sueño, aumento de la actividad simpática y alteraciones en la función respiratoria (figura 8). Además, las personas obesas sufren una mayor discriminación social por razones culturales y tienen una mayor incidencia de problemas psicológicos (autoestima) y desórdenes alimentarios (WHO, 2000, pp.39-60).

**Tabla 1. Alteraciones de salud afectadas por la obesidad**

<b>Sistema orgánico obeso</b>	<b>Enfermedades relacionadas con la obesidad</b>
Pulmonar	Apnea del sueño Asma Síndrome Pickwickian
Ortopédico	Desplazamiento de prótesis Enfermedad de Blount (tibia vara) Torsion tibial Pies planos Esguinces de tobillo Aumento del riesgo de fracturas
Neurologico	Hipertensión intracraneal idiopática
Gastrointestinal	Colelitiasis Esteatosis hepática(higado graso no-alcohólico) Reflujo gastroesofágico
Endocrino	Resistencia a la insulina/intolerancia a la glucosa Diabetes tipo 2
Anormalidades menstruales	Anormalidades menstruales Síndrome del ovario poliquístico Hiperkorticismo
Cardiovascular	Hipertensión Dislipidemia Bandas grasas (fase inicial de la arteriosclerosis) Hipertrofia ventricular izquierda (corazón)
Otros	Inflamación sistémica/proteína C reactiva elevada

*Fuente: IOTF (2004)*

No sorprende pues, que estudios epidemiológicos hayan determinado que la obesidad comporta un descenso de la expectativa de vida, especialmente cuando el IMC es superior o igual a 35 (Finkelstein et al. 2009) (figura 8).



**Figura 8. Años de vida perdidos en la población de Estados Unidos debido a la obesidad en función del grado de obesidad.**

(Fuente: Finkelstein et al., 2009)

Comorbilidades relacionadas con la obesidad que antaño eran excepcionales en niños y jóvenes, como el síndrome metabólico y la diabetes tipo 2, son diagnosticadas en estos colectivos cada vez con mayor frecuencia (Cook et al. 2008; Kelishadi et al. 2009a; Kelishadi et al. 2009b; Schwimmer et al. 2008). Especialmente alarmantes son los datos de prevalencia en todas las edades del síndrome metabólico, el cual constituye una asociación de factores que predisponen a la diabetes tipo 2 y a la enfermedad cardiovascular.

Los criterios diagnósticos del síndrome metabólico para adultos están claramente establecidos (Adult Treatment Panel III: [ATP III] of the National Cholesterol Education Program (U.S.)) (2002) y están recientemente armonizados en el caso de los niños. No existe una definición única universalmente aceptada de síndrome metabólico. Los mismos criterios adaptados en función de la edad se pueden aplicar a niños y adolescentes (Cook et al. 2003;

Weiss et al. 2004), aunque es necesario establecer criterios mejor estandarizados (Cook et al. 2008).

En EEUU el Third National Health and Nutrition Examination Survey (1988-1994), que incluyó 2 430 niños de entre 12 y 19 años encontró una prevalencia de síndrome metabólico (diagnosticado usando los criterios ATP III ajustados por edad) de 4.2% en la población general, 6.1% en varones y 2.1% en niñas, siendo las diferencias de género estadísticamente significativas. No obstante, casi un 30% de los niños obesos y un 7% de los niños con sobrepeso (pero sin obesidad) cumplieron criterios de síndrome metabólico (Cook et al. 2003).

**Tabla 2. Criterios diagnósticos de Síndrome Metabólico en adultos y niños**

	Niños y jóvenes	Adultos	
		Hombres	Mujeres
Obesidad abdominal	≥ xxx Circunferencia abdomen <sup>1</sup>	≥ 94 cm.	≥ 80 cm.
Triglicéridos	≥ 110 mg/dl	≥ 150 mg/dl	
HDL-C	≤ 40 mg/dl	≤ 40 mg/dl	≤ 50 mg/dl
Presión arterial	≥ xxx / xxx mmHg	≥ 130 / 85 mmHg	
Glucemia en ayunas	≥ 100 mg/dl	≥ 100 mg/dl	

<sup>1</sup> xxx ≥ al percentil 90 (específico de edad, sexo y talla) (Ford et al., 2007).

Fuente; niños (Ford, et al, 2007), adultos (Alberti et al., 2011)

La prevalencia de síndrome metabólico en niños ente 12-19 años, en U.S. entre 1999 y 2002, queda reflejada en la tabla 2. Se puede apreciar como la prevalencia varia en función del criterio diagnóstico, pero en cualquier caso se observa que la prevalencia global oscila entre un 2.0 y un 9.4%. No obstante, en los niños con sobrepeso la prevalencia sube entre un 12.4% hasta un 44.2% (Cook et al. 2008). Estas cifras son realmente alarmantes, pues implican que al menos un 12% de los niños con sobrepeso tienen síndrome metabólico, con todas las consecuencias que esta situación puede conllevar para su salud a corto y largo plazo, así como por los costes que esta situación conllevará para el sistema nacional de salud.

La obesidad abdominal se asocia a mayor prevalencia de síndrome metabólico (Taksali et al. 2008). Esta asociación es más intensa si se combina obesidad general junto con obesidad abdominal (Kelishadi et al. 2008). El aumento del perímetro del abdomen y la dislipemia (aumento de triglicéridos y disminución del colesterol HDL) son los componentes del síndrome metabólico más frecuentes (Cook et al. 2008).

**Tabla 3. Prevalencia (y error estándar) del síndrome metabólico en adolescentes de USA usando varias definiciones (NHANES 99-02, Cook et al, 2008) (n = 1.826)**

	<b>Cook / Ford</b>	<b>Cruz</b>	<b>Caprio</b>	<b>Adult</b>
	<b>% (ES)</b>	<b>% (ES)</b>	<b>% (ES)</b>	<b>% (ES)</b>
<b>Todos</b>	9.4 (1.2)	2.0 (0.4)	2.4 (0.4)	5.8 (0.9)
Estimación número	2.900.000	600.000	700.000	1.800.000
<b>Sexo</b>				
Hombre	13.2 (2.0)	3.0 (0.8)	3.8 (0.8)	7.0 (1.4)
Mujer	5.3 (1.2)	1.0 (0.4)	0.6 (0.3)	4.5 (1.2)
<b>Raza/etnia</b>				
Blanco	10.7 (1.9)	2.2 (0.5)	2.5 (0.6)	6.0 (1.4)
Negro	5.2 (1.1)	1.6 (0.5)	1.9 (0.7)	4.7 (1.1)
Mejicano-Americano	11.1 (1.2)	2.6 (0.6)	3.1 (0.7)	6.0 (0.9)
<b>Estatus IMC</b>				
Normal	1.6 (0.7)	0 (0)	0 (0)	1.1 (0.5)
En riesgo	7.8 (3.6)	0 (0)	0 (0)	5.8 (2.8)
Sobrepeso	44.2 (2.9)	12.4 (2.5)	14.1 (2.6)	26.2 (3.6)

% = Prevalencia; ES = error estándar

NHANES = National Health and Nutrition Examination Survey

En el colectivo de niños, una circunferencia de cintura superior al percentil 80 correspondiente a su edad se ha asociado a una probabilidad 11 veces mayor para tener acumulación excesiva de grasa en el tronco. En el caso de las niñas, la probabilidad es 16 veces mayor si tienen un perímetro de cintura superior al percentil 80 para su edad. Si el perímetro de cintura fuera superior al percentil 90, entonces se tomaría como un criterio del síndrome metabólico en niños (Taylor et al. 2000). La grasa visceral libera ácidos grasos a la circulación portal que en el hígado causan resistencia a la insulina (hepática), mayor formación de triglicéridos,

VLDL y disminución del aclaramiento hepático de insulina, contribuyendo al síndrome metabólico.

Characteristic	%	SE (%)	OR (95% CI)
<b>Total, crude</b> <sup>1</sup>	34,4	(1.3)	-- --
<b>Total, age-adjusted</b> <sup>1,2</sup>	34,0	(1.1)	-- --
<b>Sex</b> <sup>2</sup>			
Male	35,1	(1.3)	1,00 --
Female	32,6	(1.6)	0,89 (0.73 to 1.07)
<b>Male</b>			
<b>Age</b>			
20–39 years	20,3	(2.0) a3	1,00 --
40–59 years	40,8	(2.1) b	2,70 (1.96 to 3.73)
60 years and over	51,5	(3.1) c	4,18 (3.01 to 5.79)
<b>Race and ethnicity</b> <sup>2</sup>			
Non-Hispanic w hite	37,2	(1.6) a3	1,00 --
Non-Hispanic black	25,3	(2.0) b	0,54 (0.40 to 0.73)
Mexican American	33,2	(2.9) ab	0,78 (0.57 to 1.07)
<b>Body mass index (BMI)</b> <sup>2</sup>			
Under- + normal w eight	6,8	(1.1) a3	1,00 --
Overw eight	29,8	(2.0) b	6,17 (3.96 to 9.62)
Obese and over	65,0	(2.4) c	31,92 (20.06 to 50.78)
<b>Female</b>			
<b>Age</b>			
20–39 years	15,6	(1.8) a3	1,00 --
40–59 years	37,2	(2.6) b	3,20 (2.32 to 4.43)
60 years and over	54,4	(2.8) c	6,44 (4.75 to 8.72)
<b>Race and ethnicity</b> <sup>3</sup>			
Non-Hispanic w hite	31,5	(2.2)	1,00 --
Non-Hispanic black	38,8	(2.1)	1,44 (1.05 to 1.98)
Mexican American	40,6	(2.5)	1,55 (1.06 to 2.29)
<b>Body mass index (BMI)</b> <sup>3</sup>			
Under- + normal w eight	9,3	(0.9) a3	1,00 --
Overw eight	33,1	(2.9) b	5,48 (3.75 to 8.02)
Obese and over	56,1	(2.6) c	17,14 (12.54 to 23.44)

**1** Total includes racial and ethnic groups not shown separately plus respondents with missing BMI values.

**2** Age adjusted percentages and standard error. The logistic regression models controlled for age group. Reference groups for logistic regression: sex—males; age—20–39 years; race and ethnicity—Non-Hispanic white; body mass index—underweight and normal weight

**3**  $p < 0.05$ . Adjusted for multiple comparisons using the Bonferroni method of adjustment when three levels were examined. Letters that are different from each other indicate significant differences.

SE (%) = Standard error (percentage)

**Table 5. Prevalencia de los factores de riesgo individual para el síndrome metabólico en adultos de 20 años o más (USA, 2003–2006, Ervin, 2009)**

Characteristic	n	Abdominal obesity		Hypertriglyceridemia		Low HDL cholesterol		High blood pressure <sup>1</sup> or medication use		High fasting glucose or medication use	
		%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)
Total, crude <sup>2</sup>	3,423	53,2	(1,3)	31,4	(1,0)	24,7	(0,9)	40,0	(1,3)	39,0	(1,9)
Total, age-adjusted <sup>2,3</sup>	3,423	52,8	(1,1)	31,2	(1,0)	24,7	(0,9)	39,5	(1,1)	38,6	(1,6)
<b>Sex <sup>3</sup></b>											
Male	1,794	44,8	(1,3) a,4	35,6	(1,5) a	21,6	(1,5) a	43,4	(1,4) a	45,8	(1,8) a
Female	1,629	60,7	(1,6) b	26,5	(1,1) b	27,8	(1,5) b	35,2	(1,3) b	31,3	(1,7) b
<b>Male</b>											
<b>Age</b>											
20–39 years	607	32,0	(2,2) a,4	29,6	(2,1) a	21,4	(2,5)	24,1	(2,0) a	28,8	(1,8) a
40–59 years	546	52,1	(2,5) b	41,5	(2,5) b	23,0	(1,9)	44,5	(2,7) b	50,3	(3,3) b
60 years and over	641	55,2	(2,4) b	36,7	(2,1) a,b	19,5	(1,3)	74,4	(2,7) c	67,8	(1,9) c
<b>Race and ethnicity <sup>3</sup></b>											
Non-Hispanic white	967	47,4	(1,4) a,4	36,6	(1,7) a	22,6	(1,9) a	43,5	(1,7) a,b	44,8	(2,2)
Non-Hispanic black	346	36,0	(2,9) b	21,2	(2,4) b	11,5	(1,6) b	51,3	(2,8) a	40,9	(2,3)
Mexican American	364	37,6	(3,6) a,b	43,7	(2,8) a	26,0	(2,8) a	35,5	(2,7) b	49,8	(3,1)
<b>Body mass index (BMI) <sup>3</sup></b>											
Under- + normal weight	532	* *		18,0	(2,2) a	9,4 **	(1,9) a	32,0	(1,8) a	35,0	(2,7) a
Overweight	701	35,1	(1,8) a,4	37,7	(1,8) b	22,6	(2,7) b	40,3	(2,2) b	45,0	(2,2) b
Obese and over	557	94,4	(1,1) b	48,6	(2,7) c	31,3	(3,3) b	57,5	(2,4) c	55,5	(2,0) c
<b>Female</b>											
<b>Age</b>											
20–39 years	488	49,8	(2,7) a,4	17,8	(2,0) a	29,4	(2,5)	6,8	(1,2) a	13,4	(1,5) a
40–59 years	542	64,1	(2,2) b	27,3	(1,7) b	29,4	(2,4)	43,2	(2,2) b	35,5	(3,0) b
60 years and over	599	74,0	(2,6) c	40,1	(3,0) c	22,7	(2,2)	71,0	(2,6) c	55,1	(2,7) c
<b>Race and ethnicity <sup>3</sup></b>											
Non-Hispanic white	846	58,0	(2,3) a,4	27,3	(1,5) a	27,6	(2,1) a	33,0	(1,5) a	28,7	(2,0) a
Non-Hispanic black	348	76,3	(2,1) b	14,4	(1,8) b	26,8	(2,7) a	53,4	(2,8) b	38,7	(2,4) b
Mexican American	306	74,9	(3,3) b	34,6	(2,1) c	39,6	(3,3) b	32,1	(3,0) a	41,7	(3,8) b
<b>Body mass index (BMI) <sup>3</sup></b>											
Under- + normal weight	519	13,6	(1,5) a,4	12,9	(1,3) a	12,9	(1,7) a	26,4	(1,9) a	15,8	(1,7) a
Overweight	474	77,7	(3,1) b	32,3	(3,0) b	30,5	(1,8) b	31,7	(1,9) a	31,2	(2,3) b
Obese and over	634	99,6	(0,2) c	36,8	(1,8) b	43,1	(2,8) c	46,8	(2,6) b	46,9	(2,5) c

\* Indicates a relative standard error of 30% or more. These estimates are considered highly unreliable and are not shown (7,10).

\*\* Indicates a relative standard error greater than 20% but less than 30%. These estimates may be unreliable and should be interpreted with caution (7,10).

1 Blood pressure measurement is the average of up to three blood pressure readings.

2 Total includes racial and ethnic groups not shown separately plus respondents with missing BMI values.

3 Age-adjusted estimates. Age adjustment was performed using the direct method of adjustment to the 2000 U.S.Census.

4  $p < 0.05$ . Letters that are different from each other indicate significant differences. Comparisons involving three categories were adjusted for multiple comparisons using the Bonferroni method of adjustment.

Las células adiposas del tejido adiposo subcutáneo tienen propiedades bioquímicas diferentes de las células adiposas de la grasa visceral. Las células de la grasa visceral son más resistentes a la supresión de la lipólisis por insulina, más sensibles a la acción lipolítica de las catecolaminas, producen menos leptina y más TNF $\alpha$ . Por lo que la grasa visceral contribuye a la inflamación que suele acompañar al síndrome metabólico. El exceso de grasa visceral se puede asociar a niveles normales de colesterol LDL, pero las partículas LDL son más densas y de menor tamaño con apoB aumentada, lo que aumenta el riesgo cardiovascular unas seis veces (Despres et al. 2001). En consecuencia, en los obesos, una mayor circunferencia abdominal se asocia a peor perfil lipídico (aumento de triglicéridos y disminución de colesterol HDL) (Flodmark et al. 1994; Freedman et al. 1999; Tresaco et al. 2009). Si el colesterol LDL está aumentado en un niño existe riesgo de que cuando sea adulto su LDL también esté aumentado (Lauer et al. 1988).

La resistencia a la insulina constituye el componente cardinal del síndrome metabólico. La resistencia a la insulina se caracteriza por una menor respuesta biológica a la insulina por parte de los músculos esqueléticos, el tejido adiposo y el hígado (menor capacidad de la insulina para bloquear la gluconeogénesis). La medición de la prevalencia de la resistencia a la insulina en niños y adolescentes es compleja ya que depende de los criterios utilizados para establecer los puntos de corte de HOMA-IR (el HOMA-IR es un índice de resistencia a la insulina) a partir de los cuales se considera que un niño tiene resistencia a la insulina. No obstante, se estima que entre un 45 y un 80% de los niños obesos tienen resistencia a la insulina y entre un 10 y un 60% de los niños con sobrepeso, mientras que este problema sólo afecta a entre un 2 y un 20% de los niños con peso normal (Lee et al. 2006).

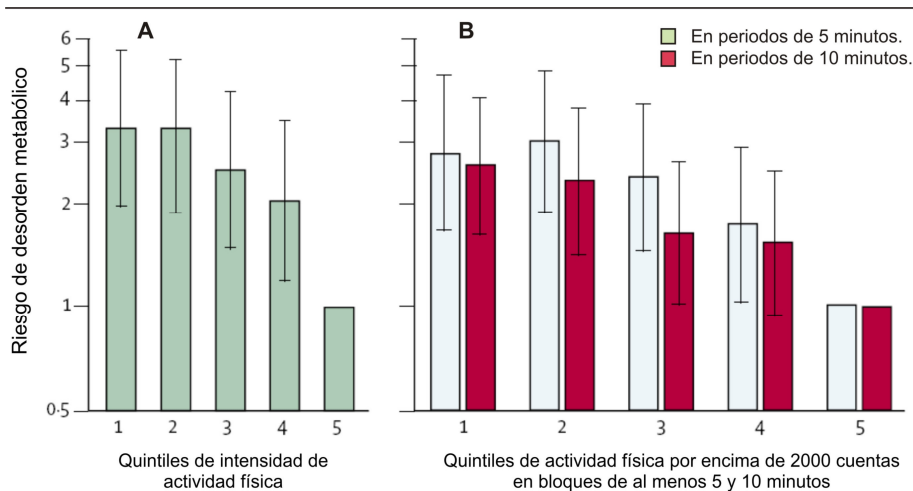
Los niños con síndrome metabólico tienen mayor riesgo de progresión hacia la diabetes tipo 2 (Weiss 2007; Weiss y Caprio 2006; Weiss et al. 2006), este riesgo es mucho mayor para los niños que se ubican en el decil superior de resistencia a la insulina (HOMA-IR) y de concentración basal de insulina: aproximadamente la mitad de esos niños desarrollarán diabetes tipo 2 (Nguyen et al. 2009). Además, se ha constatado que en niños la concentración basal de insulina correlaciona con la presión arterial 6 años más tarde (Taittonen et al. 1996). Mientras que la hipertensión acelera la formación de placas de arteriosclerosis (McGill et al. 1998).



El síndrome metabólico se asocia a hiperuricemia en niños (al igual que ocurre en adultos) (Ford et al. 2007). Esta relación podría ser debida a que el aclaramiento renal de urato es inversamente proporcional a la resistencia a la insulina (Facchini et al. 1991), ya que la insulina inhibe la excreción renal de urato (Ter Maaten et al. 1997). La hiperuricemia puede tener efectos negativos en la función endotelial al contribuir a la arteriosclerosis al fijar óxido nítrico (un vasodilatador) (Nakagawa et al. 2006). También se ha descrito en niños con síndrome metabólico inflamación (Winer et al. 2006); esteatosis hepática no-alcohólica, que se asocia a un aumento de la alaninoaminotransferasa (ALT), hipoadiponectinemia, hipertrigliceridemia, aumento de la grasa visceral y disminución de la sensibilidad a la insulina (Burgert et al. 2006) y microalbuminuria (índice con capacidad predictora de enfermedad cardiovascular) (ibid).

La obesidad se asocia a un descenso del tono parasimpático y un posible aumento del tono simpático (Rabbia et al. 2003), posiblemente mediado por el aumento de la concentración sanguínea de ácidos grasos libres (Florian y Pawelczyk 2010). Los niños obesos tienen mayor riesgo anestésico en caso de requerir cirugía (Tait et al. 2008). La depresión y la baja autoestima son más frecuentes en niños obesos (Erermis et al. 2004; Strauss y Pollack 2003). Además, la obesidad en la adolescencia se ha asociado con un aumento de riesgo relativo de muerte por cualquier causa de (riesgo relativo de 1.8) y del riesgo de muerte por enfermedad coronaria (riesgo relativo de 2.3) (Must et al. 1992).

Frente a esta situación un estudio transversal con 1732 niños seleccionados al azar de 9 y 15 años de edad de Dinamarca, Estonia y Portugal determinó el riesgo cardiovascular (+1SD) usando un factor combinado de riesgo cardiovascular calculado en función de la presión arterial sistólica, los triglicéridos, el cociente colesterol total/HDL, la resistencia a la insulina (HOMA), la suma de cuatro pliegues cutáneos y la condición física aeróbica (potencia máxima en un test incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro). El riesgo relativo de padecer un desorden metabólico fue de 3.3, 3.1, 2.5 y 2.0 para los quintiles de actividad física (medidos mediante acelerometría), comparados con el quintil con mayor actividad física (figura 9). Es decir, este estudio indica que el riesgo cardiovascular en los niños y adolescentes disminuye con la acumulación de actividad física. Estos resultados llevaron a los autores a recomendar para todos los niños al menos una hora diaria de actividad física de intensidad al menos moderada (Andersen *et al.*, 2006).



**Figura 9. Riesgo relativo cardiovascular en función de los quintiles de actividad física.**

*La AF ha sido evaluada como valor medio de las cuentas por minuto /CPM) detectadas mediante acelerometría (gráfica A) y como quintiles de AF por encima de una intensidad de 2000 cpm, en bloques de AF de al menos 5-10 minutos (gráfica B). Las líneas verticales representan el intervalo de confianza la 95%. (Andersen et al, 2006)*

## 2.2. Actividad física y condición física

### 2.2.1. Definición de actividad física y conceptos relacionados.

La **actividad física** ha sido definida como cualquier movimiento producido por la musculatura esquelética que resulta en un gasto energético (Caspersen et al. 1985). El consenso internacional reside precisamente en la idea de que la actividad física es esencialmente **gasto energético**, que a su vez es producido mediante comportamientos motores que pueden ser muy variados, incluyendo actividades físicas cotidianas. Aunque la actividad física es a menudo evaluada en términos de gasto energético, también puede ser observada como un comportamiento biocultural que ocurre bajo diferentes formas y contextos culturales (Malina 2001).

El significado de actividad física también incluye el opuesto o **inactividad física** equivalente al de emplear tiempo en actividades que apenas se distinguen del gasto energético basal, en general reconocidos como comportamientos

sedentarios e incluyen desde el visionado de pantallas, la lectura de libros y revistas y el tiempo social hablando con otros, que usualmente se realizan en posición sentado o acostado (sedestación).

El *gasto energético* es usualmente expresado como el oxígeno requerido por unidad de tiempo, basado en medidas de consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$  en  $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$  o  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). El gasto energético puede ser calculado en kilocalorías por minuto ( $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ) a partir del consumo de oxígeno y expresarse como un multiplicador del gasto energético en reposo, p.e. MET (equivalente metabólico). Para detectar diferencias en el gasto metabólico en reposo relacionado con el género, edad y composición corporal se creó una clasificación basada en los MET. Un MET corresponde al consumo de oxígeno medio en reposo en la posición sentada, el cual es equivalente a 1 kcal por kg de peso y hora o bien 3.5 ml de  $\text{O}_2$  por kg de peso y por minuto (McArdle et al. 2006; Welk 2002). En la actualidad existen dos extensos listados (the Compendium of Physical Activities) que clasifican todas las actividades físicas según su nivel de intensidad en METs (Ainsworth et al. 1993; Ainsworth et al. 2000).

**El ejercicio físico** es una subcategoría de la actividad física. Ha sido definido como un conjunto de actividades físicas planificadas, estructuradas y con rutinas repetitivas que se realizan para mejorar o mantener alguno de los componentes de la condición física (*“physical fitness”*) (Caspersen et al. 1985; U.S. Department of Health and Human Services 1996)

**La condición física (physical fitness)** es un conjunto de atributos que la gente posee o alcanza relacionados con la capacidad para realizar actividades físicas (Caspersen et al. 1985; Howley 2001). La condición física puede ser dividida según su orientación, hacia el rendimiento (*“performance-related fitness”*) o hacia la salud (*health-related fitness*).

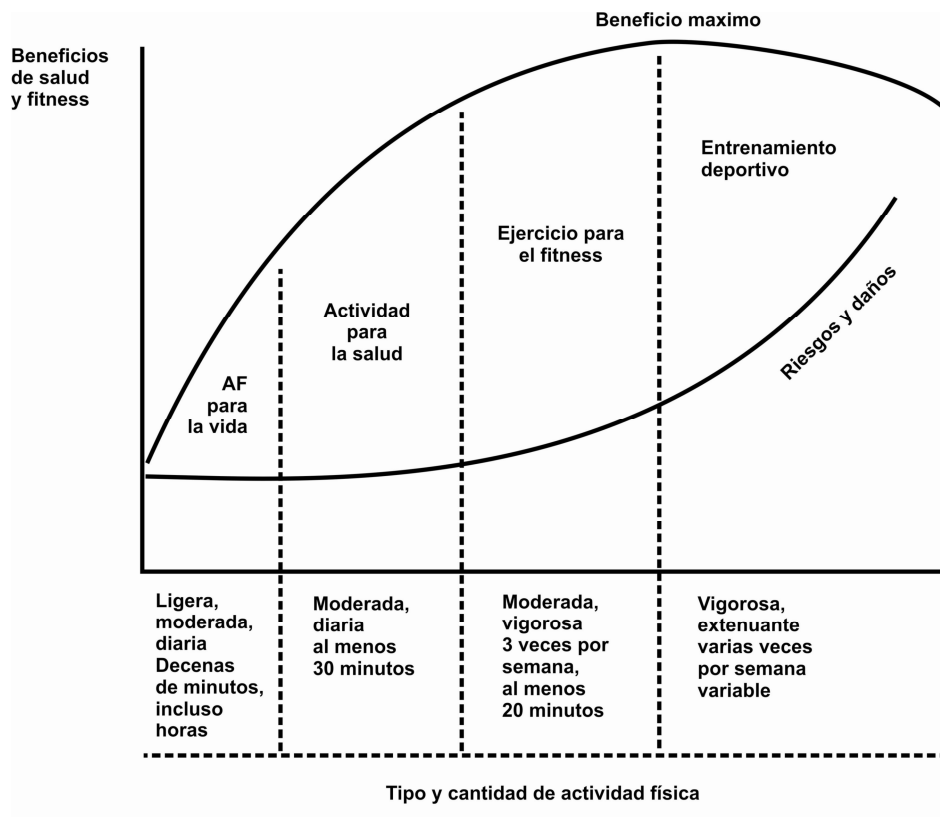
De acuerdo al modelo Toronto (Bouchard y Shephard 1994 ), los componentes de la condición física relacionada con la salud son: morfológico, muscular, motor, cardiorrespiratorio y metabólico. El componente morfológico se refiere a la composición corporal y dureza de los huesos (Skinner y Oja 1994). La composición corporal describe la cantidad la masa grasa y su distribución regional (periférica o abdominal), así como a la masa libre de grasa (Howley 2001). El componente muscular se refiere la fuerza muscular, resistencia muscular y

flexibilidad. El componente motor describe el control postural (Skinner y Oja 1994). El componente cardiorrespiratorio de la condición física se refiere a la capacidad de los sistemas cardiovascular y respiratorio para suministrar oxígeno a los músculos durante ejercicios dinámicos (Howley 2001). La medida directa del consumo máximo de oxígeno ( $VO_2\text{max}$ ) es considerada el “estandar de oro” (“gold standard”) de la capacidad cardiorrespiratoria. El componente metabólico incluye el metabolismo de los carbohidratos y lípidos, usualmente definidos por la tolerancia a la glucosa, sensibilidad a la insulina, perfil lipídico y ratio de oxidación de lípidos y carbohidratos en un test de esfuerzo (Bouchard y Shephard 1994 ).

**La actividad física para la salud** (“*Health-enhancing physical activity*”, *HEPA*) ha sido definida como cualquier forma de actividad física que beneficia a la salud y a la capacidad funcional sin excesivo riesgo o daño (Foster 2000; Oja y Borms 2004). Para obtener beneficios de salud haciendo actividad física o ejercicio, es necesaria una dosis específica (Haskell 1994, 2001). Los principios de sobrecarga, progresión y especificidad son los principales determinantes de cómo el cuerpo responde a la dosis de actividad física (McArdle et al. 2006). Dependiendo del objetivo de salud, la dosis puede diferir para la salud general o para diferentes discapacidades o enfermedades. Para obtener beneficios de salud, por ejemplo, la dosis más baja requerida es la intensidad moderada. La relación dosis-respuesta entre la actividad física y la mortalidad tiene una tendencia curvilínea (Haskell 2001; Haskell et al. 2007). Esto implica que el mayor beneficio ocurriría si las personas inactivas llegan a ser algo activas, lo cual es importante desde una perspectiva de salud pública.

La dosis de actividad física para la salud puede ser descrita por su intensidad, duración, frecuencia, modo y continuidad. La intensidad es un prerrequisito esencial para que la actividad física induzca mejoras en la condición física y otros componentes de la salud física. La intensidad puede ser expresada en METs, donde el rango de actividad física entre 3.5-6 METs y  $> 6$  METs corresponden a las AF moderadas y vigorosas respectivamente. La intensidad puede también ser expresada en términos relativos, p.e., como porcentaje de la capacidad aeróbica máxima ( $\% VO_2\text{max}$ ), donde los rangos 51-69% y 70-85% del  $VO_2\text{max}$  corresponden a las AF moderadas y vigorosas respectivamente (ACSM 2006). La duración es la cantidad de tiempo en horas o minutos empleada específicamente en la actividad física. La frecuencia se expresa generalmente en el número de veces o días por semana de una actividad física pero puede ser

expresada como una categoría (p.e., 5 días por semana). El modo se refiere a la modalidad específica de actividad física realizada y el contexto en el cual la actividad física es desarrollada. (p.e. caminar al trabajo). La continuidad alude a los diferentes periodos del año en que se realiza la actividad física (p.e, caminar al trabajo, 5 días por semana desde mayo a octubre).



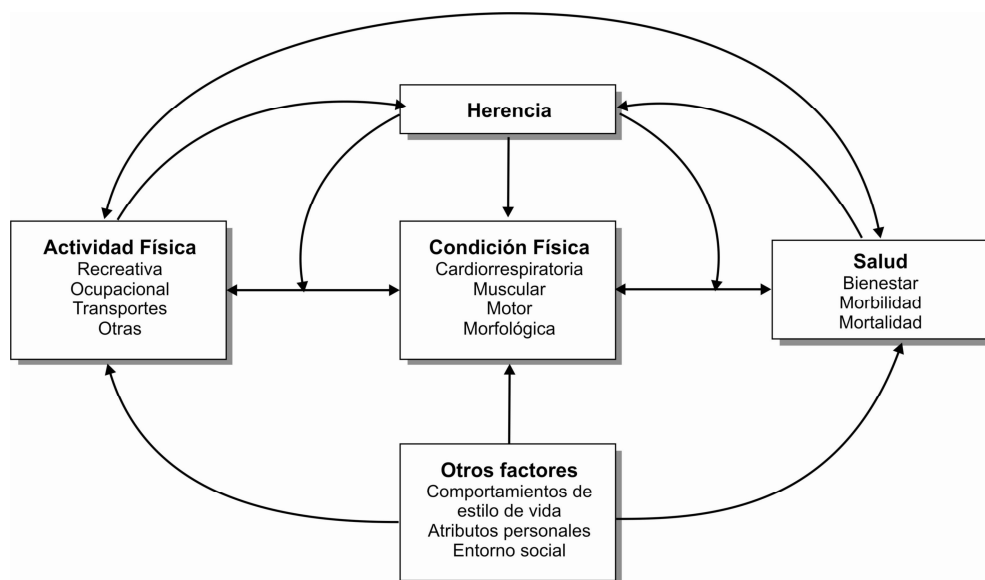
**Figura 10. Descripción gráfica de la relación curvilínea entre la dosis de actividad física y beneficios de salud**

Fuente: (Vuori and Oja, 1997)

### 2.2.2 Relaciones entre la condición física, la actividad física y la salud.

Las relaciones entre la actividad física, la condición física y la salud pueden ser examinadas y comprendidas mediante el modelo Toronto (Bouchard et al. 1994). La actividad física puede influenciar la condición física, que

a su vez puede modificar el nivel de actividad física, es decir, que las relaciones pueden ser recíprocas (figura 11). Con el aumento y mejora de la condición física, las personas tienden a ser más activas. Las asociaciones entre la condición física y la salud son también recíprocas. La condición física influye en la salud y ésta influye a ambos, actividad física y condición física (ibid).



**Figura 11. Modelo que describe las relaciones entre la actividad física, la condición física y la salud.**

Fuente: Bouchard & Shephard (1994)

Otros factores influyen en la actividad física, la condición física y la salud, aquellos relacionados con los estilos de vida, atributos personales y del entorno físico y social (figura 11). Los comportamientos de estilo de vida refieren a comportamientos de riesgo como fumar, consumir alcohol y patrones de dormir, mirar pantallas y otros comportamientos sedentarios. Varios atributos personales como la edad, género, personalidad, motivación, actitudes y creencias de autoeficacia hacia la actividad física influyen en el comportamiento activo, la condición física y la salud. El ambiente físico, su atractivo, comodidad, seguridad, distancia, temperatura, humedad, altitud y los cambios climáticos pueden influir en la actividad física, la condición física y la salud. La herencia también tiene un impacto sobre estos tres componentes del modelo. La interacción entre los genes y el entorno es ampliamente responsable de la variabilidad de la

actividad física y de los cambios adaptativos al ejercicio (Bouchard y Pérusse 1994 ). Se han observado marcadas diferencias en la respuesta a ciertas dosis de actividad física, que pueden variar desde ningún cambio hasta el 100% de aumento en el  $VO_2$  max en personas sedentarias (Bouchard y Rankinen 2001).

### **2.2.2.1. Relaciones entre la actividad física, la condición física y la salud en los adultos.**

Los efectos favorables de la actividad física regular sobre la condición física y la salud son bien reconocidos. La relación dosis-respuesta de actividad física para obtener beneficios de salud varía para diferentes objetivos de salud (Dunn et al. 2001; Kesaniemi et al. 2001; Mummery et al. 2004; Spirduso y Cronin 2001). Las recomendaciones internacionales establecen la dosis en 30 minutos de AF moderada la mayor parte de los días de la semana (Pate et al. 1995). La dosis de 150 minutos semanales de actividad física moderada en al menos 5 días se ha establecido como el umbral mínimo para obtener beneficios de salud. La alta prevalencia de personas por debajo de este nivel ha justificado el estudio de la inactividad e insuficiente actividad física como dimensiones de alto interés.

Un bajo nivel de actividad física ha sido asociado a un aumento de la mortalidad por todas las causas (Lee y Skerrett 2001; Schoenborn y Stommel 2011), a un aumento de la incidencia de enfermedad cardiovascular, (Buchner 2009; Ekblom-Bak et al. 2010), obesidad (Bernstein et al. 2004; Petersen et al. 2004; Sugiyama et al. 2008), diabetes tipo II (Kelley y Goodpaster 2001), cancer de colon (de Vries et al. 2010; Wolin et al. 2009), osteoporosis (Lorentzon et al. 2005; Warburton et al. 2007) y síntomas depresivos (Dunn et al. 2001; Jacka et al. 2011; Teychenne et al. 2008). La actividad física ha sido, en síntesis, vinculada a la reducción del riesgo de más de 25 condiciones crónicas, estimándose que podría prevenir hasta un tercio de las muertes por enfermedades cardíacas, una cuarta parte de las muertes por accidentes cerebro-vasculares y osteoporosis y un 14% de las muertes por cáncer (Warburton et al. 2007)

Las relaciones de la condición física con la salud son por lo general más consistentes que las de la actividad física con la salud. Un bajo nivel de condición física cardiorrespiratoria se ha asociado a un riesgo aumentado de la enfermedad

cardiovascular y mortalidad (Blair et al. 2001; Fogelholm 2010; Laukkanen et al. 2001). La obesidad, que es un componente morfológico de la condición física, se ha asociado a un riesgo cardiovascular y diabetes tipo 2 aumentados (WHO 1998). No obstante, cuando los adultos obesos poseen un buen nivel de condición física cardiorrespiratoria su riesgo cardiovascular es menor que aquellos con peso normal y bajo nivel de condición física cardiorrespiratoria (Fogelholm 2010). Los principales riesgos de la obesidad se han asociado a la distribución abdominal de grasa más que al total (Welborn y Dhaliwal 2007).

### **2.2.2.2. Relaciones entre la actividad física, la condición física y la salud en niños y jóvenes.**

Se ha criticado la creencia de que la condición física de los niños es el resultado de la actividad física que hacen, de modo que los niños con mejor condición física son activos y los de peor condición física serían menos activos o inactivos. En los adultos esta relación es más consistente, pero en los niños parece ser más débil (Armstrong y Welsman 1997; Dencker et al. 2006; Hansen et al. 2005; Thomas et al. 2003; Welsman y Armstrong 1992). En algunos estudios longitudinales y de intervención, la condición física cardiorrespiratoria no se ha mostrado vinculado con la actividad física (Kemper y Koppes 2002; Martínez-Vizcaino y Sanchez-Lopez 2008). Podrían surgir problemas si las puntuaciones de los test de los jóvenes se usaran por ejemplo para prescribir actividad física. Un niño activo que puntúe mal en los test de condición física puede resultar desmotivado y frenar su actividad, mientras que un niño inactivo que puntúe bien puede llevar a la conclusión que todo está bien, cuando no es así (Cale et al. 2007). Hay muchas razones para pensar que los test de condición física durante la niñez y adolescencia son por naturaleza inestables (Rarick y Smoll 1967).

La debilidad de las relaciones condición física-actividad física en niños y jóvenes es debida a la dificultad de medir la actividad física en niños, incluso con métodos objetivos como acelerómetros, al nivel de motivación en los test, a la variabilidad de los test de campo, a la heterogeneidad de las muestras y a otras variables de confusión (Malina 2001; Malina y Katzmarzyk 2006; Martínez-Vizcaino y Sanchez-Lopez 2008). Mucho más clara parece la asociación entre la condición física y la salud en dichos colectivos.



Diversos estudios con niños y jóvenes han mostrado que la condición física, en sus dimensiones de resistencia, fuerza y velocidad, tiene una buena potencia predictiva sobre diversos indicadores de salud ósea, metabólica y cardiovascular, a corto o medio plazo (Andersen et al. 2008; Ewart et al. 1998; Friedlander et al. 1995; Garcia-Artero et al. 2007; Gutin et al. 2005; Ortega et al. 2008). Si la condición física mejora, igualmente la salud, pero necesita mantenerse para no perder las ganancias, por lo que las relaciones a largo plazo entre la condición física y la salud tienden a perderse.

Aparte de la condición física, la actividad física de intensidad moderada a vigorosa (superior a 3.5 METs) en cantidad suficiente (al menos 60 min. diarios) se ha mostrado asociada a diversos resultados de salud cardiovascular, ósea y metabólica (Andersen et al. 2006; Blair et al. 2001; Blair y Church 2004; Dwyer et al. 1983; Harrell et al. 1996; Hasselstrom et al. 2002; Hurtig-Wennlof et al. 2007; Timperio et al. 2004; Trudeau et al. 1999). Ambos, condición física y actividad física, tienen efectos positivos en la salud, en el caso de la actividad física el punto crítico reside en su intensidad y cantidad. A largo plazo, la condición física se ha mostrado un mejor predictor de salud que la actividad física (Hasselstrom et al. 2002; Twisk et al. 2002), sugiriendo prestar más atención a la intensidad del ejercicio en el presente que a la cantidad de energía consumida a lo largo del día.

Hay un amplio reconocimiento de que la dificultad de alcanzar resultados más consistentes en las relaciones condición física–actividad física–salud en niños y jóvenes son en parte debidas a las limitaciones de las medidas de actividad física y a otros factores confusores que pueden enmascarar los resultados en la investigación (Martinez Vizcaino et al. 2008). La diversidad de enfoques y medidas explican resultados mezclados. La *adiposidad*, por ejemplo, podría interferir en la relación de la condición física *cardiorrespiratorio* con la *salud cardiovascular y metabólica*. Los niños obesos parecen necesitar dosis diferentes de actividad física que los niños normales para alcanzar resultados de salud (Gutin et al. 2008). Por otra parte, la genética ha sido sugerida como un factor con mayor peso que la actividad física para explicar los cambios de la condición física cardiorrespiratoria a largo plazo, en la edad adulta, tras un seguimiento de 23 años (Kemper y Koppes 2002).

El conjunto de la investigación sugiere que ambos, *condición física* y *actividad física*, son positivos a corto y medio plazo para la salud de niños y

jóvenes, con efectos diferenciados sobre algunas dimensiones de la salud que se siguen discutiendo. Al largo plazo, los efectos de la condición física y la actividad física en la salud, son más discutidos. Se sabe que en el caso de intervenciones en las escuelas, las mejoras del programa de intervención tendían a perderse en los periodos no lectivos y en vacaciones (Gutin et al. 2008).

### **2.2.2.3. Estudios de intervención con actividad física para prevenir la obesidad y la salud en jóvenes.**

Los estudios de intervención suponen la mejor evidencia para indagar en las relaciones entre la actividad física y la condición física con la obesidad y otros marcadores de salud. En el año 2005, Carolyn Summerbell publicó una revisión bibliográfica de los estudios de intervención con actividad física para prevenir la obesidad en niños-jóvenes en la prestigiosa revista *Cochrane Database Systematic Reviews* (Summerbell et al. 2005). De los 22 estudios incluidos en el análisis de ensayos clínicos para prevenir la obesidad en niños, 10 eran estudios a largo plazo (entre 12 meses y 3 años) y 12 eran estudios a corto plazo entre (12 semanas y 1 año). Diecinueve estudios se llevaron a cabo en el ámbito escolar o pre-escolar, uno fue una intervención comunitaria dirigida a familias con bajo poder adquisitivo y dos fueron intervenciones dirigidas a familias con niños no obesos de padres con sobrepeso u obesidad.

De los estudios a largo plazo, 6 de ellos combinaron educación nutricional (consejos dietéticos) con actividad física, de los cuales 5 no encontraron efectos sobre el IMC y uno encontró una mejora en las niñas, pero no en los niños. Dos estudios se centraron únicamente en la actividad física. De ellos, uno empleó una solución multinivel que resultó eficaz en la prevención de la obesidad. Otros 2 estudios a largo plazo se centraron únicamente en la educación nutricional sin resultados positivos. De los 12 estudios realizados a corto plazo, 4 de ellos se centraron en intervenciones orientadas a incrementar la actividad física, de los que 2 resultaron en una ligera disminución del IMC. Los otros ocho estudios combinaron consejo dietético y aumento de actividad física sin efectos significativos en el IMC. A pesar de estos resultados desalentadores, la mayoría de los estudios de intervención consiguieron los objetivos de aumentar la actividad física y modificar la dieta, aunque mayoritariamente con nulo o escaso efecto sobre el IMC.

¿Significa esto que las intervenciones basadas en consejo dietético y actividad física deben abandonarse por ineficaces? No puede concluirse así. Como se explica más adelante, es posible tener éxito en la prevención y tratamiento del sobrepeso y la obesidad con una intervención, pero evidentemente tiene que ser una intervención diferente. Una visión negativa frente a los programas de intervención para tratar la obesidad en niños fue también sostenida por la agencia estadounidense (US Preventive Services Task Force) en sus recomendaciones de 2005. Sin embargo, en las recomendaciones más recientes reconocen que un programa de intervención que incluya consejo dietético y conductual y actividad física puede resultar eficaz para reducir el IMC en niños obesos (ver, <http://www.ahcpr.gov/clinic/uspstfix.htm>).

En efecto, en 2008 se publicó el primer estudio randomizado de 4 años de duración con resultados positivos en niños de entre 9.9 y 13.8 años al inicio del programa (Simon et al. 2008). Los niños que participaron en el programa de intervención incrementaron menos su adiposidad y mejoraron su colesterol HDL comparados con los del grupo control. El programa de intervención se planteó con un enfoque multinivel con la intención de: 1) cambiar las actitudes negativas hacia la actividad física, 2) promover el soporte social por parte de padres y educadores, 3) proporcionar condiciones ambientales e institucionales que animen a los adolescentes a la práctica de actividad física. El programa incluyó un componente educativo centrado en la actividad física y las conductas sedentarias. Se ofreció a los niños nuevas oportunidades de actividad física a la hora de la comida (mediodía), en los recreos y al terminar el horario lectivo. Las actividades, ya fueran académicas o menos formales, fueron organizadas por educadores físicos evitando cualquier restricción competitiva, es decir, se facilitó la participación de todos los niños, ayudando a los menos competentes para que adquirieran el nivel suficiente y poder así disfrutar de las actividades físicas. Asimismo organizaron eventos deportivos y promocionaron el desplazamiento activo a la escuela (en bicicleta).

Como resultado de la intervención los participantes del grupo de intervención realizaron 66 minutos más de actividad física supervisada en el tiempo de ocio. La intervención disminuyó la incidencia (es decir, nuevos casos de sobrepeso de niños que antes no tenían sobrepeso) en un 50% a los cuatro años. Sin embargo, los niños que tenían sobrepeso al inicio del programa no mostraron

una evolución diferente de la adiposidad a la observada en el grupo control al final del programa de intervención, pero sí mostraron mejoras del colesterol HDL.

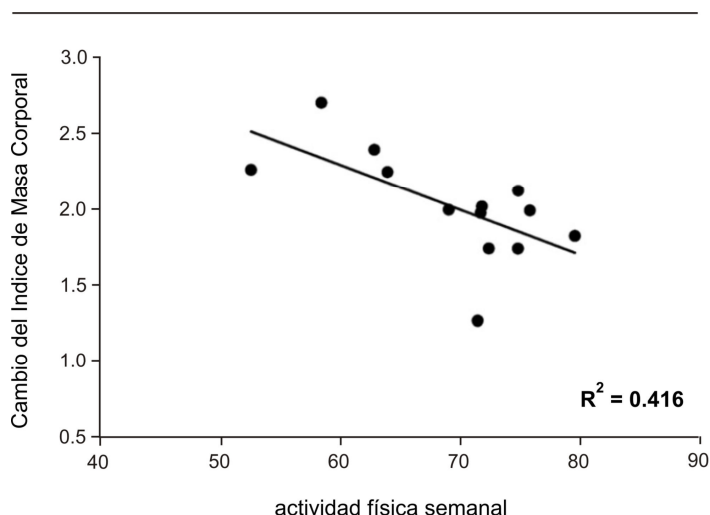
Martínez Vizcaíno y col. (2008) llevaron a cabo un programa de intervención de 24 semanas en niños de 9.4 años, basado en tres sesiones de actividad física extraescolar de 90 min. distribuidos en 15 min. de ejercicios de estiramiento, 60 min. de ejercicios aeróbicos y 15 min. de ejercicios de fuerza. La actividad generada por el programa fue evaluada con acelerómetros en 75 niños elegidos al azar, que alcanzaron una media de 1345 cuentas por minuto (c.p.m.) durante los 90 minutos de la sesión frente a una media de 527 c.p.m. a la misma hora del día en un día sin sesión de ejercicio.

La intervención no tuvo efectos sobre el IMC, pero produjo un descenso del pliegue adiposo cutáneo tricípital (1.1 a 1.4 mm), un descenso de la apolipoproteína B y un aumento de la apolipoproteína A. No observaron efectos en colesterol total, triglicéridos y presión arterial, con la excepción de la presión arterial diastólica que aumento 1.4 mmH en los niños (varones) del grupo de intervención. Además, en el subgrupo de niños con un IMC entre el percentil 25 y 75 el programa de intervención redujo significativamente el porcentaje de grasa corporal de 23.2 a 22.7%. Cambios similares se observaron en los niños con IMC superior al percentil 75.

Con un enfoque similar al anterior, Reed y col. (Reed et al. 2008) efectuaron un estudio de intervención durante un curso escolar, en el que aparte de actividades de promoción de la actividad física incluyeron en su programa de intervención 15 min. de ejercicio obligatorio, aunque no se explica bien qué tipo e intensidad de ejercicio efectuaron los niños. El programa de intervención consiguió mejorar el rendimiento en el test de Luc Léger (Course Navette de 20 m), sin efectos significativos en IMC ni en el perfil lipídico.

La principal diferencia entre el estudio de Martínez-Vizcaíno y el estudio de Reed está en la cantidad total de ejercicio y el grado de control del programa, mucho mayor en el estudio de Martínez-Vizcaíno, que sí fue eficaz para disminuir la adiposidad. De hecho, un estudio reciente ha comprobado que existe una relación directa entre el número de minutos semanales de actividad física moderada o intensa (intensidad media estimada en el estudio de 3.4 METs) y el cambio producido en el IMC en los estudios de intervención (Donnelly et al. 2009).

Tal y como se puede apreciar en la figura 12, los niños que efectuaron más minutos semanales de actividad física moderada o intensa incrementaron menos su IMC a lo largo de los tres años que duro el estudio de intervención. Además, los niños del grupo de intervención mejoraron más su rendimiento académico que los niños del grupo control (ibid).

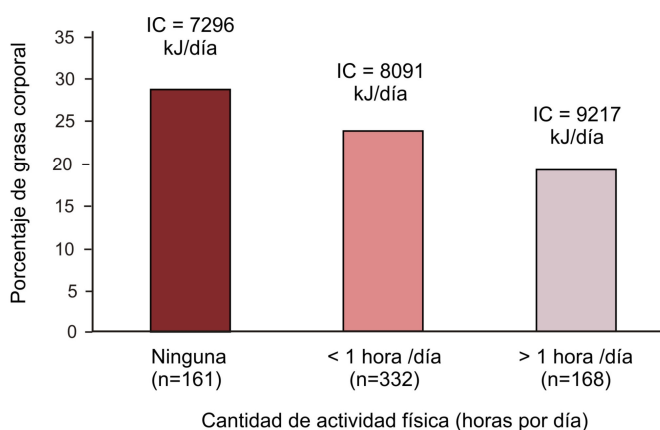


**Figura 12. Relación entre el cambio en el índice de masa corporal y el número de minutos dedicados cada semana a actividad física moderada o intensa**  
(Donnelly et al. 2009)

Los estudios de cohorte proporcionan una evidencia menos sólida que la proporcionada por los ensayos clínicos randomizados. Entre estos estudios tiene especial interés el estudio de cohorte de Wardle y col. (Wardle et al. 2007) que se extendió durante 5 años. Estos investigadores estudiaron a niños de 11 y 12 años al inicio del seguimiento, pertenecientes a 34 escuelas de secundaria de Londres, de las cuales 25 de ellas tenían una sesión de educación física, 7 dos sesiones y 2 tres sesiones. No se observaron efectos en el IMC atribuibles a la frecuencia semanal de las clases de educación física. No obstante, tras 5 años, los varones de las escuelas con 3 clases de educación física semanal redujeron 4.5 cm. el perímetro abdominal en comparación a las escuelas con sólo 1 sesión semanal. Este efecto no alcanzó significación estadística.

En general, los estudios de intervención en los que sólo se ha incidido en la modificación de conducta, el soporte social y aspectos educativos acerca de la conveniencia de realizar actividad física y de las características de la alimentación sana han fracasado en conseguir prevenir el incremento de la adiposidad. No obstante, sí han mostrado cierto éxito en conseguir modificar los patrones alimentarios, en mejorar el conocimiento de los niños y padres, y mejorar las actitudes hacia el ejercicio. Estos programas de intervención han conseguido disminuir el número de horas de televisión y aumentar el tiempo dedicado a actividades físicas (Flynn et al. 2006; Verstraete et al. 2007).

Las intervenciones que han utilizado programas de ejercicio de intensidad moderada o vigorosa, con un mínimo de 3 veces por semana (añadida a la que se hace diariamente) han mostrado efectos beneficiosos sobre la adiposidad (Connelly et al. 2007; Gutin et al. 2008). Cada vez hay más evidencia a favor de la intensidad del ejercicio como principal variable determinante del éxito de los programas de intervención (Connelly et al. 2007; Gutin et al. 2008). Los niños que realizan cada día al menos una hora de actividad física vigorosa tienen mejor composición corporal (más masa ósea y más masa muscular), mejor condición física y un porcentaje de grasa mucho menor que los niños que no realizan actividad física vigorosa, a pesar de que los niños que realizan 1 hora de actividad física vigorosa consumen a diario más calorías (figura 13).

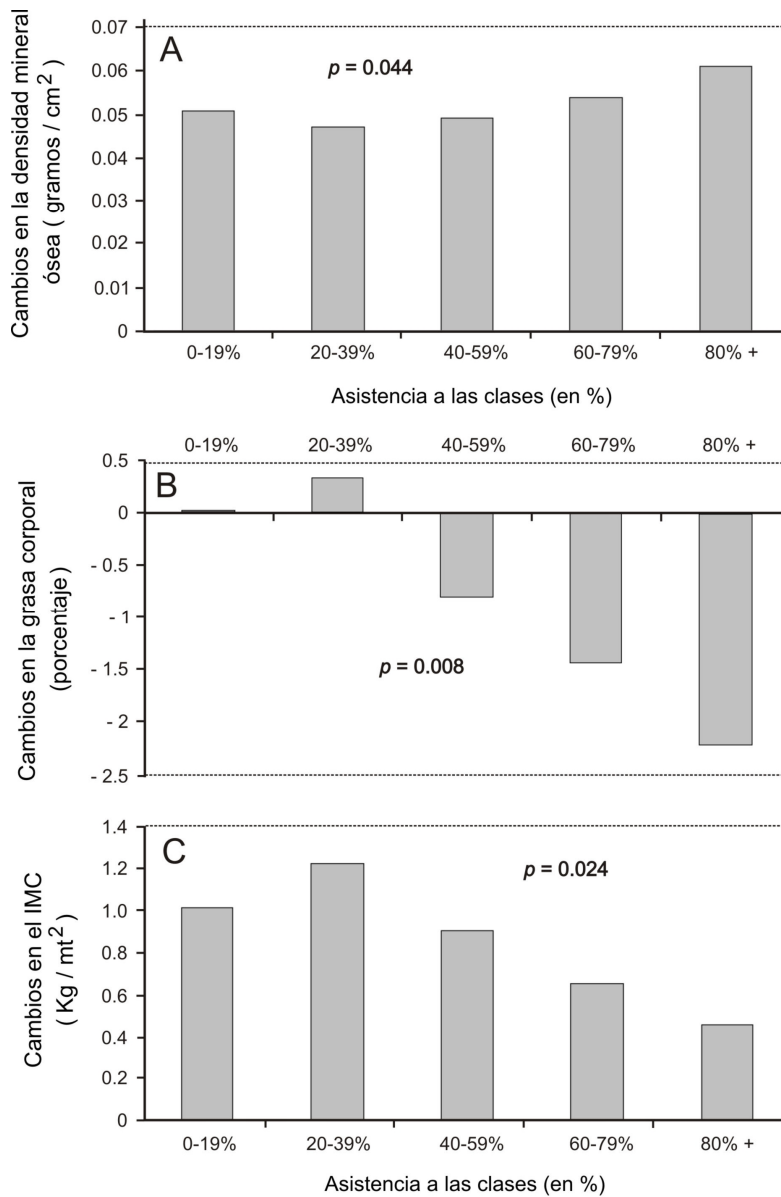


**Figura 13. Porcentaje de grasa corporal medido mediante DXA en 661 adolescentes en relación al tiempo dedicado a actividades vigorosas.** (Mitin et al., 2004)

La importancia de la actividad física vigorosa ha sido constatada en un estudio de intervención en el que sometieron a niñas de 8 a 11 años de raza negra (una minoría con elevado riesgo de desarrollar sobrepeso y obesidad en Estados Unidos) a un programa de actividad física vigorosa de 80 min./día, 5 días por semana, durante 10 meses. La actividad física se incorporó como actividad extraescolar, por la tarde, al final de la jornada lectiva. Encontraron efectos positivos sobre el porcentaje de grasa corporal, IMC, grasa visceral, densidad mineral ósea y condición física aeróbica (Barbeau et al. 2007). Los niños del grupo de intervención que mantuvieron las frecuencias cardíacas más elevadas durante las sesiones de ejercicio y que más participaron (o sea los que menos días de ejercicio perdieron) mostraron los mayores decrementos de porcentaje de grasa corporal y los mayores incrementos de densidad mineral ósea (Barbeau et al. 2007)

Tal y como puede apreciarse en la figura 14, los cambios en la densidad mineral ósea, el porcentaje de grasa corporal y el IMC dependieron del número de sesiones a las que efectivamente acudieron las niñas (Barbeau et al. 2007). El impacto que tiene en los efectos del programa de intervención el volumen semanal fue verificado por estos mismos autores en un estudio de intervención posterior de tres años de duración (aunque publicado antes) (Yin et al. 2005a; Yin et al. 2005b). No obstante, los autores observaron que durante los veranos los participantes del grupo experimental recuperaban la grasa perdida y perdían la ventaja en condición física sobre el grupo control (Gutin *et al.*, 2008). Este último resultado demuestra la importancia que tiene mantener los niveles de actividad física en los periodos de vacaciones.

Incluso se ha demostrado que es posible disminuir la grasa corporal en adolescentes (16 años) en 5 semanas al someter a un programa de ejercicio en un campamento de verano que incluía de 120 a 150 min. diarios de actividad vigorosa (Eliakim et al. 2000). Sin embargo, no se observaron efectos en los lípidos plasmáticos, que posiblemente requieren de una intervención más larga para producirse. No obstante, hay que tener presente que si uno de los progenitores es obeso o bien si el IMC al inicio de la intervención es elevado, las posibilidades de éxito de la intervención son menores (Eliakim et al. 2004).



**Figura 14. Cambios en la densidad mineral ósea (A), porcentaje de grasa corporal (B) e IMC (C) teniendo en cuenta el porcentaje de participación en el programa experimental.** El estudio se realizó con niñas de raza negra de 8 a 11 años, que siguieron un programa de AF vigorosa de 80 minutos por día, 5 días por semana, a lo largo de 10 meses. Los efectos son más claros en las niñas con una participación superior al 80% (equivalente a 4 clases por semana) (Barbeau et al., 2004)



**(3)**

---

**OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

---

Los objetivos planteados en la presente tesis son:

1. Determinar si existe una relación entre el gasto energético estimado con el IPAQ para cada una de las dimensiones de actividad física (caminar, moderada, vigorosa y total) con las características antropométricas, composición corporal, condición física cardiorrespiratoria y muscular en hombres adultos. Esto incluye determinar la relación de las 4 dimensiones de gasto energético señaladas con:
  - *Características antropométricas:* Peso, IMC, circunferencia del tórax, circunferencia de la cintura, circunferencia de la cadera.
  - *Composición corporal:* grasa del tronco y grasa corporal total.
  - *Condición física cardiorrespiratoria:* Consumo máximo de oxígeno ( $VO_2$  max)
  - *Condición física muscular:* fuerza isométrica máxima, altura de vuelo (con y sin contra-movimiento), velocidad y capacidad anaeróbica.
2. Examinar la validez del gasto energético estimado por la versión corta del IPAQ, contra medidas de condición física, incluyendo el componente muscular.
3. Determinar si existe una relación entre el nivel de actividad física estimado con el IPAQ y las características antropométricas, composición corporal, condición física cardiorrespiratoria y muscular en hombres adultos.
4. Determinar si las potenciales asociaciones entre la actividad física y la condición física son explicables por el nivel de adiposidad.

Dado que una actividad física reducida ha sido vinculada a una acumulación de masa grasa y ésta tiene adicionalmente una influencia negativa en los test de fitness, la hipótesis que orienta el trabajo de investigación es:

*“La adiposidad corporal podría jugar un rol de confusión en las relaciones entre la actividad física moderada a vigorosa y la condición física cardiorrespiratoria, explicando parte o la mayor parte de dichas relaciones”.*

**(4)**

---

**MÉTODOS**

---

#### **4.1. Muestra.**

Estuvo compuesta por 182 hombres adultos, con una edad comprendida entre los 20 y 55 años, y una edad media  $\pm$  desviación estándar (SD) de  $31 \pm 7.2$  años. Los participantes fueron reclutados voluntariamente de entre los cuerpos de policía local de los municipios de la isla de Gran Canaria y estudiantes universitarios físicamente activos. El estado de salud de cada participante fue establecido mediante una historia clínica y un examen físico. Los participantes que estuvieran tomando algún tipo de medicación o tuvieran alguna enfermedad crónica o hipertensión fueron excluidos. En todos los participantes se midió la actividad física mediante cuestionario (IPAQ, versión corta y larga), la condición física (varias pruebas que luego se detallan), las características antropométricas (pliegues, IMC) y la composición corporal (DXA).

#### **4.2. Consentimiento y aprobación ética.**

Los participantes fueron informados de forma verbal y escrita de los objetivos y procedimientos, así como de los posibles riesgos y beneficios de la participación en el estudio, tras lo cual firmaron el correspondiente consentimiento informado. Dicho estudio se desarrolló de acuerdo a lo regulado para los estudios clínicos en la Declaración de Helsinki de 1975, última modificación en el año 2000, y bajo la aprobación del comité bioético de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

#### **4.3. Recogida de datos.**

La evaluación inicial consistió en la determinación de la actividad física habitual por encuesta (IPAQ: Internacional Physical Activity Questionnaire), antropometría, evaluación de la composición corporal mediante absorciometría fotónica dual de rayos X, medición de la fuerza dinámica e isométrica máxima de las extremidades inferiores mediante plataforma de fuerza y test de capacidad anaeróbica de 300-m. Otro día fue necesario para la medición de la capacidad aeróbica (resistencia cardiorrespiratoria) mediante el test de Luc Leger ("*Course Navette*") (Leger et al. 1988) y la velocidad de carrera en 30-m.

#### 4.4. Evaluación de la actividad física

Se evaluó la actividad física habitual con la versión corta y larga del IPAQ en el contexto de una entrevista con el participante. En la presente tesis se usan los datos de la versión corta que consta de 4 dimensiones de actividad física: moderada, vigorosa, caminar y tiempo sentado. En cada dimensión se registró la frecuencia (días a la semana) y la duración (minutos por semana) de las actividades físicas en la última semana. La última pregunta en relación al tiempo sentado no forma parte del cómputo total de gasto energético. Con los datos recogidos se estimó el gasto energético semanal para cada una de las 4 dimensiones de actividad física evaluadas y para el total de actividad física. Asimismo, se emplearon los algoritmos recomendados por el IPAQ Research Committee para clasificar adicionalmente a los participantes en tres categorías de actividad física, como se detalla a continuación (IPAQ research committee 2005).

##### 4.4.1. Gasto energético estimado.

Se siguieron los protocolos establecidos por el IPAQ Research Committee para estimar el gasto energético por semana, expresado en MET-minuto por semana ( $\text{MET} \cdot \text{min} \cdot \text{sem}^{-1}$ ). Así, el gasto energético se definió como el resultado de multiplicar la duración de la actividad (en minutos) por la frecuencia (en días) y por el código de intensidad abajo descrito, correspondiente según el tipo de actividad (caminar, moderada, o vigorosa). A su vez, el gasto energético de la actividad física de caminar, moderada y vigorosa fue sumado para estimar el total de gasto energético.

El gasto energético estimado se incluyó en los análisis de datos como una variable de naturaleza continua, operativamente obtenida mediante el producto de tres cosas, la frecuencia, la duración y un código de intensidad estandarizado: caminar = 3.3 METs, intensidad moderada = 4.0 METs e intensidad vigorosa = 8.0 METs.

*Gasto energético ( $\text{Met-min} \cdot \text{sem}^{-1}$ ) =  $\sum$  Intensidad ( $\text{MET-min.}$ ) x duración ( $\text{min.}$ ) x frecuencia (días) de cada una de las actividades físicas.*

Como ejemplo, un participante que realizara 30 minutos por día de caminar a razón de 5 días por semana y además hiciera 20 minutos de ejercicio

moderado en un gimnasio a razón de 2 días por semana, le correspondería un gasto energético de:

Caminar = 3.3 MET x 30 min. x 5 días = 495 MET-minutos por semana

Moderado = 4.0 MET x 20 min. x 2 días = 160 MET-minutos por semana

Vigoroso = 0

Total de actividad física = 505 METs-minutos por semana.

#### 4.4.2. Nivel de actividad física.

Todos los participantes del estudio fueron clasificados en las tres categorías o niveles propuestos por el IPAQ Research Committee (2005): 1) insuficientemente activo, 2) moderadamente activo y 3) muy activo).

La categoría “**muy activo**” describe altos niveles de actividad física. Para su clasificación se usaron dos criterios:

- a) Realizar al menos 3 días a la semana actividades de intensidad vigorosa, y gastar al menos 1500 MET-minutos a la semana en total, o bien,
- b) Siete o más veces por semana de cualquier combinación de caminar, moderado o vigoroso con un total de al menos 3,000 MET-minutos por semana en el total de actividad física.

La categoría de “**moderadamente activo**” se definió con los siguientes criterios:

- a) Tres o más días de actividad física vigorosa durante al menos 20 minutos por día.
- b) Cinco o más días de actividad moderada y/o caminar durante al menos 30 minutos por día.

- c) Cinco o más días de alguna combinación de caminar, moderado, o vigoroso, con un gasto energético de al menos 600 MET-minutos a la semana en total.

La categoría de “**insuficientemente activo**” se definió con los siguientes criterios:

- a) No alcanzar ninguno de los criterios anteriormente descritos

Para operacionalizar la variable “nivel de actividad física” se elaboraron un conjunto de algoritmos, utilizando la sintaxis del software estadístico SPSS, con los siguientes operados lógicos: “Si” (&), “O” (|), “Menor que” (<), “Mayor que” (>), “Mayor o igual que” ( $\geq$ ) y “Menor o igual que” ( $\leq$ ).

- **Muy activo:**

(días\_semana\_vigorasas  $\geq$  3 & minutos\_día\_vigorasas  $\geq$  20) |  
(días\_semana\_total  $\geq$  7 & met\_total  $\geq$  3000 MET-min)

- **Moderadamente activo:**

(días\_semana\_vigorasas  $\geq$  3 & minutos\_día\_vigorasas  $\geq$  20) |  
(días\_semana\_moderadas  $\geq$  5 & minutos\_día\_moderadas  $\geq$  30) |  
(días\_semana\_caminar  $\geq$  5 & minutos\_día\_moderadas  $\geq$  30) |  
(días\_semana\_total  $\geq$  5 & met\_total  $\geq$  600 MET-min)

- **Insuficientemente activo:**

(Moderadamente activo = 0 & Muy activo = 0)

## 4.5. Evaluación de la condición física

### 4.5.1. Velocidad de carrera.

El tiempo invertido en correr 30-m nos da información de la velocidad de desplazamiento y de la aceleración y desaceleración. Para ello se midió utilizando células fotoeléctricas (General ASDE, Valencia). El cronómetro se ponía

en marcha de forma automática cuando el participante cruzaba la primera célula, y de ahí en adelante tomaba los tiempos cada 5-m. Se motivó a los participantes (así en todos) para que corrieran lo más rápidamente posible, tomándose como valor representativo de la prueba el mejor de tres intentos separados por al menos 1 minuto de descanso.

#### **4.5.2. Capacidad anaeróbica.**

Para estimar la capacidad anaeróbica se utilizó un test de carrera de 300-m (Vicente-Rodriguez et al. 2003). Este test fue elegido debido a que la capacidad anaeróbica es el principal determinante del rendimiento en esfuerzos máximos que llevan al agotamiento entre 30 y 60 s (Calbet et al. 2003; Calbet et al. 1997). El test se realizó en una pista de atletismo de 400-m y se midieron los tiempos mediante un cronómetro. A todos los sujetos se les pidió que corrieran los 300-m tan rápido como pudieran y los test fueron efectuados individualmente, realizándose un sólo intento.

#### **4.5.3. Potencia aeróbica máxima.**

Para estimar el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2 \text{ max}$ ) se utilizó el test máximo de carrera de ida y vuelta de 20-m descrito por Leger y col (1988). Se requería que los participantes corrieran entre dos líneas separadas por 20-m, estando en cada línea en el momento en que sonaba un pitido emitido por una cinta magnetofónica. La frecuencia de las señales sonoras se incrementaba de tal forma que la velocidad de carrera que comenzaba a  $8.5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$  aumentaba en  $0.5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada minuto. El tiempo (segundos) que los participantes eran capaces de correr se registró para calcular el  $VO_2 \text{ max}$ . Este test ha mostrado una gran validez y reproducibilidad para la predicción del  $VO_2 \text{ max}$  (Leger et al. 1988).

#### **4.5.4. Capacidad de salto y fuerza isométrica máxima de las extremidades inferiores.**

Las fuerzas generadas durante el salto vertical se midieron mediante una plataforma de fuerza (Kistler, Winterthur, Switzerland). Cada participante realizó dos tipos diferentes de salto vertical máximo en los que se eliminó la contribución de los brazos. Adicionalmente se evaluó la fuerza isométrica máxima en posición de semisentadilla.



- Squat jump (SJ) en el que hay que saltar desde una posición de salida con las piernas flexionadas por la rodilla a 90° y en el que no se puede realizar contramovimiento previo. Para verificar la flexión de rodilla a 90° antes de realizar el SJ se usó un goniómetro digital (Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN).

- Salto con contramovimiento (CMJ) en el que se parte de la posición de pie y se realiza un contramovimiento flexionando rápidamente las rodillas hasta unos 90° para conseguir impulso previo.

A partir de los datos recogidos con la plataforma de fuerza se determinó la altura de vuelo (AV), en el mejor de tres intentos tanto en el SJ como en el CMJ

- La fuerza isométrica máxima neta (FIMax) desarrollada durante la extensión de piernas en posición de sentadilla a 90° también se midió con la misma plataforma de fuerza, siguiendo el protocolo descrito por Calbet y colaboradores (Calbet et al. 1998). Brevemente, a cada participante se le animó para que realizara la mayor fuerza posible, intentando mantenerla durante 5 segundos. Se guardaron los datos del mejor de tres intentos que se realizaron con al menos 5 minutos de recuperación entre ellos.

#### **4.6. Antropometría y composición corporal.**

##### **4.6.1. Antropometría.**

La talla (cm), el peso corporal (kg), el índice de masa corporal (IMC), así como los 9 pliegues cutáneos (tricipital, subescapular, bicipital, pectoral, cresta ilíaca, supraespal, abdominal, anterior del muslo y pierna), 11 circunferencias (brazo relajado en extensión, brazo contraído en flexión, antebrazo en extensión, muñeca, tórax, cintura, glúteo, superior del muslo, medial del muslo, pantorrilla y tobillo) y 2 diámetros óseos (ancho del húmero y del fémur) fueron medidos según el Advanced O-Scale Physique Assessment System (Ward et al. 1989) El índice de cintura-cadera se calculó usando la fórmula  $\text{índice de cintura-cadera} = \frac{\text{circunferencia de la cintura (cm)}}{\text{circunferencia de la cadera (cm)}}$ .

#### 4.6.2. Composición corporal.

El porcentaje de grasa se determinó mediante absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA) (QDR-1500, Hologic Corp., Software versión 7.10, Waltham, MA). El equipo DXA se calibró utilizando un fantoma de espina lumbar y siguiendo las recomendaciones de Hologic. Los participantes fueron escaneados en la posición de tumbados boca arriba y operando el escáner en la mayor resolución. A partir del análisis de cuerpo entero se calculó el porcentaje de grasa en el tronco y en el cuerpo entero (Ara et al. 2006; Vicente-Rodriguez 2006).

A partir del análisis regional y de cuerpo entero se calculó la masa magra (g), la masa grasa (g), el área ósea total (cm<sup>2</sup>) y el BMC (g). El BMD y la masa magra se calcularon siguiendo las formulas:

$$\text{Masa magra} = \text{masa corporal} - (\text{masa grasa} + \text{masa ósea})$$

$$\text{BMD} = \text{BMC} \times \text{área}^{-1}$$

También se realizó un análisis regional de la composición corporal (Calbet et al. 2001). La masa magra de las piernas se asumió equivalente a la masa muscular. Dos análisis adicionales se realizaron para estimar la masa ósea a nivel lumbar y de la parte superior del fémur izquierdo. Este análisis permite presentar los valores de contenido y densidad mineral ósea del cuello del fémur, el trocánter mayor, la zona intertrocanteriana y el triángulo de Ward, siguiendo las recomendaciones del fabricante. La mayor ventaja de ésta técnica de análisis de la composición corporal reside en su validez y fiabilidad (Haarbo et al. 1991; Mazess et al. 1990; Van Loan y Mayclin 1992). Además, se considera que es la técnica más adecuada, debido al tiempo tan corto de escaneado que necesita y a la baja irradiación, que es inferior, por ejemplo, a la radiación soportada en un viaje en avión de Las Palmas a Madrid (Lewis et al. 2001).

#### 4.7. Análisis de datos.

Los datos fueron analizados con la versión 15.0 del programa estadístico Statistical Package for Social Science (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Todas las

variables fueron testadas para comprobar su ajuste a una distribución normal con el test de Shapiro-Wilks, asumiendo un ajuste adecuado cuando  $p > 0.05$ . Algunas variables no resultaron ajustadas a la normalidad, concretamente: edad, circunferencia de cintura y cadera, tiempo en 30 y 300 metros, gasto energético (GE) de caminar, GE moderado, GE vigoroso y GE total. Estas variables fueron transformadas en su logaritmo para el análisis estadístico. La tabla 6 presenta las características de los participantes en el estudio en relación a las principales variables de esta tesis.

**Tabla 6. Características de la muestra**

	<b>N</b>	<b>Media ± SD</b>	
Edad	182	31.2	7.1 *
<b>Gasto energético</b>			
Caminar (METs/hora)	182	21.2	32.2 *
Moderado (METs/hora)	182	14.8	15.6 *
Vigoroso (METs/hora)	182	8.3	16.9 *
Total (METs/hora)	182	44.3	43.2 *
<b>Antropometría</b>			
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	182	25.6	3.2
Circunferencia torax (cm)	182	100.4	7.7
Circunferencia cintura (cm)	182	89.2	8.8 *
Circunferencia cadera (cm)	182	98.6	6.5 *
<b>Composición corporal</b>			
% grasa total	182	20.5	7.3 *
% grasa del tronco	182	20.2	9.5 *
<b>Fitness</b>			
VO <sub>2</sub> máx	182	45.9	7.9
300 mts. (seg.)	182	50.9	7.8 *
30 mts. (seg)	182	4.6	0.3
Fuerza isométrica max. (kg.)	182	106.0	22.0
Altura salto sin contramov. (cms)	182	28.6	5.1
Altura salto con contramov. (cms.)	182	32.3	6.2

\*  $p < 0.05$  en el test de Shapiro-Wilk; SD = Desviación Estandar

Para analizar las correlaciones entre el GE estimado mediante el IPAQ, con la condición física, antropometría y composición corporal se usó el test de correlación de Pearson, asumiendo diferencias significativas cuando  $p < 0.05$ . Se

realizaron análisis de correlación simple (bivariados) y parciales (covariados, ajustando por la edad y porcentaje de grasa total). La potencia estadística para los análisis de correlación estuvieron por encima de 0.8 (para  $r < 0.20$ ) en todos los análisis excepto para el GE vigoroso. La potencia estadística para el GE vigoroso fue de 0.8 para un valor de  $r = 0.32$ .

Para analizar las diferencias entre las 4 categorías del nivel de actividad física (ligera, moderada, vigorosa y total) con la condición física, antropometría y composición corporal se empleó el análisis de la varianza (ANOVA). Las medias y desviaciones estándar (SD) fueron usadas como estadística descriptiva. Las diferencias entre las categorías de actividad física se analizaron con el test post-hoc de Bonferroni. Adicionalmente, para explicar el rol de principales confusores (edad y porcentaje de grasa) en las relaciones del nivel de AF con la condición física, se llevó a cabo un análisis de la covarianza (ANCOVA).

Para analizar la potencia predictiva de la actividad física en la condición física, teniendo en cuenta la edad, la adiposidad y el tipo de actividad física, se realizó un análisis de regresión múltiple por pasos sucesivos. Este análisis permite cuantificar qué variables de antropometría, composición corporal y tipos de actividad física (p.e., vigorosa) tiene mayor valor predictivo para la condición física y sus diversos componentes (condición física muscular y cardiorrespiratoria).

**(5)**

---

**RESULTADOS**

---

En este apartado se resumen los resultados más relevantes. La descripción detallada se encuentra en el artículo anexo que se adjunta a la tesis.

### **5.1. Gasto energético estimado vs. antropometría y composición corporal.**

Se observó una relación inversa de la antropometría (IMC, circunferencias de cintura y cadera) y de composición corporal (% grasa total, % grasa del tronco) con el GE moderado con valores entre  $-0.21$  a  $-0.29$  ( $p < 0.05$ ). El GE vigoroso correlacionó de manera similar con los indicadores antropométricos y algo más acusadamente con la composición corporal ( $r = -0.37$ ,  $p < 0.05$ ). Por otra parte, el GE total no resultó asociado a la antropometría y composición corporal, mientras que el GE de caminar correlacionó con la composición corporal ( $r = 0.28$ ,  $p < 0.05$ ) y con una variable antropométrica, el ratio cintura/cadera ( $r = 0.28$ ,  $p < 0.05$ ).

### **5.2. Gasto energético estimado vs. condición física cardiorrespiratoria.**

El  $VO_2$  max resultó asociado positivamente al GE moderado y al GE vigoroso ( $r = 0.26$  y  $r = 0.27$  respectivamente,  $p < 0.05$ ). El GE de caminar resultó asociado inversamente ( $r = -0.31$ ).

Cuando los análisis fueron ajustados por la edad, las asociaciones entre la condición física y el GE estimado solo se expresaron significativas para el  $VO_2$  max con el GE vigoroso ( $r = 0.31$ ,  $p < 0.05$ ) y con el GE de caminar ( $r = -0.25$ ,  $p < 0.05$ ). Cuando se sumó el % de grasa total en los análisis, se perdieron las asociaciones encontradas, excepto para el GE de caminar ( $r = -0.40$ ,  $p < 0.05$ ). Finalmente, cuando se sumaron ambas, edad y % de grasa, como variables de control en las correlaciones parciales, ninguna asociación cruda entre la condición física y el GE estimado se mantuvo significativa.

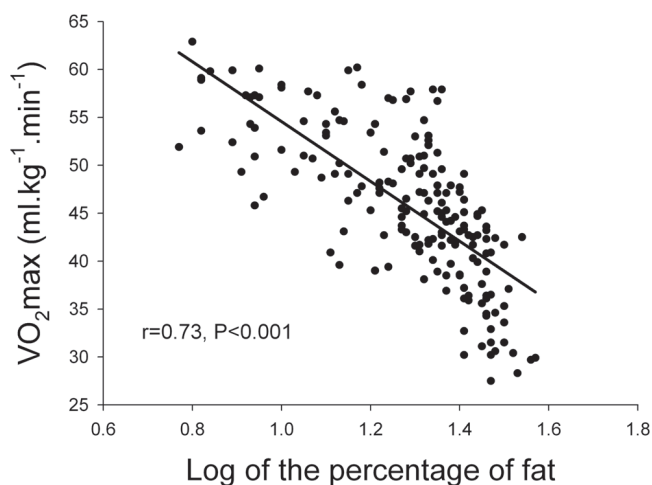
Como quiera que el % grasa y la edad presentaron un rol de confusión en las relaciones entre la condición física cardiorrespiratoria ( $VO_2$  max estimado) y el GE moderado y vigoroso, se ensayaron varios modelos de regresión lineal para predecir cuál de estas variables contribuía más en dicha relación. En un modelo donde se introdujeron por pasos sucesivos las variables de GE estimado para

predecir el  $VO_2$  max se obtuvo como resultado que el GE vigoroso y el GE de caminar predecían el  $VO_2$  max, mientras que el GE moderado fue excluido del modelo.

$$VO_2 \text{ max} = 51.5 - (0.79 \times \log \text{ GE caminar}) + (6.5 \times \text{Log GE vigoroso})$$

$$R^2 = 0.34, p < 0.01.$$

El % de grasa total ( $r = -0.73$ ,  $p < 0.05$ ) predijo mejor que el GE estimado el  $VO_2$  max en un modelo sin ajustar (figura 15). Cuando se introdujo la edad en el modelo la correlación cayó a  $r = -0.63$  ( $p < 0.05$ ) y se mantuvo en este valor cuando se añadió el GE moderado y el GE vigoroso. Así, el  $VO_2$  max se mostró asociado más intensamente al % de grasa corporal que la actividad física evaluada por el IPAQ (gasto energético estimado)



**Figura 15. Asociación entre el VO<sub>2</sub> max y el logaritmo del % de grasa (sin ajustar)**  
(Serrano et al., 2010)

Finalmente, en un modelo de regresión lineal por pasos sucesivos para predecir la condición física cardiorrespiratoria combinando las siguientes variables: LogGE caminar, LogGE moderado, LogGE vigoroso, LogGE total, Log % grasa y Log edad los resultados mostraron que el % grasa explicó un 62% de la varianza en el  $VO_2$  max mientras que la edad explicó un 10% adicional. El GE no mejoró la potencia predictiva del modelo:

$$VO_2 \text{ max} = 129.6 - (25.1 \times \log \% \text{ grasa}) - (34.0 \times \text{Log edad})$$
$$R^2 = 0.72, p < 0.05.$$

### **5.3. Gasto energético estimado vs. condición física muscular.**

No se encontraron asociaciones entre las variables relacionadas con la condición física muscular (fuerza isométrica máxima, capacidad de salto, velocidad en 30 y 300 mts.) y las variables de GE derivadas del IPAQ.

### **5.4. Nivel de actividad física vs. condición física, antropometría y composición corporal.**

Las diferencias de condición física en los tres niveles de actividad física, fueron ajustados por la edad y el % de grasa corporal. Tras los ajustes, se encontraron diferencias significativas para el  $VO_2$  max en el grupo de baja actividad física comparado con el moderado y el alto. No se apreciaron diferencias en la condición física muscular entre los 3 grupos de actividad física.

Al igual que la condición física cardiorrespiratoria, se observaron diferencias antropométricas significativas en el grupo de baja actividad física respecto al moderado y el alto, en relación a la circunferencia de cintura y cadera, que fueron superiores en el grupo de bajo nivel de actividad física. En el IMC no se observaron diferencias entre los tres niveles de actividad física.

Con relación a la composición corporal y de modo similar a la condición física y antropometría, las diferencias se observaron en el grupo de bajo nivel de actividad física respecto a los dos grupos superiores en relación al % de grasa corporal y al % grasa en el tronco, que fueron significativamente más altos en el grupo con bajo nivel de actividad física.



**(6)**

---

**DISCUSIÓN**

---

Hay tres principales hallazgos en esta tesis. Primero, y con relación a la hipótesis formulada, la adiposidad corporal (% grasa corporal) jugó un papel de confusión en las relaciones entre la condición física cardiorrespiratoria ( $VO_2$  max) y el gasto energético en actividades físicas moderadas y vigorosas. El grado de confusión producido por la adiposidad corporal se cuantificó en casi las dos terceras partes de la variabilidad del  $VO_2$  max. La edad explicó otro 10%. Entre ambas variables, edad y adiposidad, se pudo construir un modelo predictivo que explicó un 72% de la varianza de la condición física cardiorrespiratoria ( $VO_2$  max). El segundo hallazgo es que la energía gastada en actividades físicas moderadas y vigorosas, estimadas con la versión corta del IPAQ, se asoció inversamente con la adiposidad (% grasa corporal) en hombres físicamente activos. Aunque dicha relación entre el gasto energético moderado y vigoroso derivado del IPAQ y el % grasa en nuestro estudio fue moderada ( $r = -0.28$  a  $-0.37$ ), es similar a la encontrada en diversos estudios de validación de este cuestionario contra diversas medidas (acelerómetros y agua doblemente marcada). Sin embargo, no hubo relaciones consistentes entre la *condición física muscular* y la actividad física, sea estimándola como nivel de actividad física o como gasto energético. El tercer hallazgo fue que las categorías derivadas del IPAQ se mostraron sensibles para diferenciar el nivel de actividad física recomendado, pero no entre los dos niveles superiores de actividad física.

### **6.1. Rol de la adiposidad en las relaciones de la actividad física con la condición física.**

Con relación al primer hallazgo, la adiposidad (% grasa corporal) jugó un papel de confusión en las relaciones de la actividad física (moderada, vigorosa y total) con la condición física cardiorrespiratoria, explicando la mayor parte de la varianza del  $VO_2$  max. Estos resultados están parcialmente de acuerdo con el estudio de Nokes y col. (2009) en mujeres adultas no obesas. Los autores constataron que más del 70% de la varianza en el  $VO_2$  max (medido con un test de esfuerzo incremental) estaba explicado por factores diferentes al de actividad física (evaluada con acelerómetros). Particularmente, la varianza del  $VO_2$  max se explicaba en un 47% por el % grasa corporal. Además, el volumen o cantidad de actividad física no se mostró asociada a la condición física cardiorrespiratoria cuando se controló por la intensidad de la actividad física. Sin embargo, cuando se

controló por el volumen de actividad física, la intensidad de la actividad física se mostró un predictor consistente del  $\text{VO}_2$  max (Nokes 2009).

La importancia de la intensidad del ejercicio es concordante con nuestros resultados, ya que la actividad física vigorosa (intensidad superior a 6 METs) fue la más consistente en su asociación con el  $\text{VO}_2$  max después de ajustar por la edad. Algunos estudios de intervención han mostrado que el ejercicio intermitente de alta intensidad puede ser más efectivo en la reducción de masa grasa que el ejercicio aeróbico ("steady state"), aunque ambos tipos de ejercicio requieran similar gasto energético (Trapp et al. 2008) e incluso con menor gasto energético en el de alta intensidad (Tremblay et al. 1994). Es posible que el déficit energético producido por el ejercicio de alta intensidad no sea compensado por la ingesta calórica posterior del mismo modo que el ejercicio de intensidad moderada debido a un efecto diferencial de ambos sobre el apetito (Bi et al. 2005; Kawaguchi et al. 2005).

El efecto de confusión que la adiposidad puede tener sobre la condición física ha sido subrayado por otros estudios que han mostrado cómo los adultos obesos comparados con los controles no obesos tienen un  $\text{VO}_2$  max reducido cuando se expresa por kg de masa corporal (Ara et al. 2010). Sin embargo, cuando el  $\text{VO}_2$  max se expresa por kg. de masa magra, obesos y no obesos presentaron similar  $\text{VO}_2$  max (ibid). De manera similar, la adiposidad explica gran parte de las diferencias de fitness en niños físicamente activos comparados con sedentarios (Ara et al. 2004).

Este resultado sugiere que una vía para mejorar la condición física cardiorrespiratoria podría alcanzarse con mayor eficacia mediante la reducción de la adiposidad y ésta, a su vez, mediante actividad física de intensidad vigorosa, por encima de 6 veces el gasto metabólico en reposo (6 METs).

En este estudio el gasto energético de caminar estuvo inversamente correlacionado con la condición física cardiorrespiratoria, incluso después de ajustar con el % grasa corporal. Se sabe que el ejercicio de caminar por si solo es poco probable que mejore el  $\text{VO}_2$  max (Hagner et al. 2009; Havlik et al. 2005; Leon et al. 1996). La asociación negativa en nuestro estudio podría indicar que los adultos con un bajo nivel de  $\text{VO}_2$  max tienden a elegir la actividad de caminar antes que otras actividades moderadas o vigorosas, sugiriendo que el nivel de fitness cardiorrespiratorio podría jugar un rol de factor antecedente o promotor de

la intensidad de la actividad física, en línea con las indicaciones del modelo Toronto (Bouchard y Shephard 1994 ), que sugiere un papel de influencia recíproca entre la actividad física y la condición física.

## **6.2. Asociaciones entre el gasto energético derivado del IPAQ con la condición física, antropometría y composición corporal.**

Con relación al segundo hallazgo, las medidas de gasto energético moderado y vigoroso derivadas del IPAQ (versión corta) se mostraron moderada y significativamente asociadas con la condición física cardiorrespiratoria ( $VO_2$  max), adiposidad (% grasa) y antropometría (índice cintura/cadera), pero no con el componente muscular de la condición física: fuerza máxima, capacidad de salto, capacidad anaeróbica y velocidad.

Son escasos los estudios donde se haya examinado conjuntamente la validez concurrente (contra datos objetivos de comportamiento, p.e., acelerómetros, pulsómetros) y la validez de constructo (contra datos objetivos sobre efectos esperados de la actividad física, p.e., adiposidad, fitness) al examinar el grado de validez del IPAQ. Con la versión larga del IPAQ, Hagstromer y col. (2006) testaron la validez concurrente y de constructo usando diarios, acelerómetros y fitness cardiorrespiratorio (medido con test submaximal de esfuerzo caminando durante 15 min). Este estudio informó de una fuerte correlación de los datos de actividad física vigorosa del acelerómetro con los de IPAQ ( $r= 0.63$ ,  $p < 0.001$ ) y entre el total de actividad física de ambos instrumentos ( $r= 0.55$ ,  $p < 0.001$ ). En contraste, la correlación de los datos de actividad física moderada del acelerómetro con los del IPAQ fue débil ( $r= 0.12$ ,  $p= 0.051$ ). Los datos de la actividad física total provenientes del diario, transformados en METs, también correlacionaron consistentemente con la estimación de METs del IPAQ ( $r= 0.67$ ,  $p < 0.001$ ). Sin embargo, cuando se examinó la validez de constructo, las correlaciones del total de actividad física del IPAQ fueron más débiles ( $r = 0.21$ ,  $p < 0.05$  contra  $VO_2$  max y  $r= 0.25$ ,  $p < 0.01$  contra IMC) en comparación a las alcanzadas con el acelerómetro, pero similares a las alcanzadas en esta tesis con la versión corta del IPAQ.

Esta limitación del IPAQ, relacionada con su validez de constructo, puede ser debida a la dificultad intrínseca de evaluar el comportamiento de actividad física con cuestionario (Shephard 2003). Varios estudios han informado que el

IPAQ sobreestima significativamente el tiempo en actividades físicas (Ekelund et al. 2006; Johnson-Kozlow et al. 2006; Rzewnicki et al. 2003), mientras que el tiempo en actividades sedentarias tiende a ser infraestimado (Mader et al. 2006). Esto es probablemente debido a la dificultad de obtener buenas medidas de la actividad física ligera y moderada usando cuestionarios (Washburn y Montoye 1986), ya que este tipo de actividades tienden a acumularse a lo largo del día y el número y diversidad de esas actividades es enorme, resultando en una pobre recuerdo de ellas. De hecho, se ha constatado que el gasto energético total derivado del IPAQ infraestima el gasto energético medido con agua doblemente marcada en un 27% (Maddison et al. 2007). Este error fue menor en sujetos con bajo nivel de actividad física y mayor en aquellos con alto nivel de actividad física.

### **6.3. Diferencias de condición física, antropometría y composición corporal entre los tres niveles de actividad física del IPAQ.**

Aunque se ha informado de una buena correspondencia entre el tiempo empleado en actividades físicas moderadas de la versión corta del IPAQ y medidas de acelerómetro (Mader et al. 2006), nosotros observamos que los sujetos clasificados por el IPAQ en la categoría intermedia de actividad física presentaron mejor rendimiento en los test de fitness que los sujetos clasificados en la categoría superior. Las diferencias encontradas en los tres niveles del IPAQ solo fueron significativas cuando se comparó el nivel más bajo respecto del nivel intermedio en materia de  $VO_2$  max, adiposidad (% grasa total y en el tronco y otros indicadores antropométricos). Similares problemas se han mostrado usando la versión larga del IPAQ para evaluar la actividad física en pacientes con síndrome de fatiga crónica (Scheeres et al. 2009), así como con la versión corta en adultos suecos saludables (Ekelund et al. 2006).

La expectativa al iniciar este estudio era que los participantes en el nivel más alto de actividad física tuvieran también un alto nivel de condición física, incluyendo el  $VO_2$  max, fuerza muscular, capacidad anaeróbica y velocidad. Adicionalmente, también cabía esperar que los participantes más activos presentaran un menor nivel de grasa corporal y viceversa. Estas expectativas se vieron parcialmente confirmadas al observar que la condición física cardiorrespiratoria ( $VO_2$  max) fue significativamente diferente en los tres niveles de actividad física (insuficiente, suficiente y alto), particularmente en el grupo inferior con insuficiente actividad física. Sin embargo, después de controlar por el

porcentaje de grasa corporal no encontramos diferencias de condición física cardiorrespiratoria en los tres niveles de actividad física. Esto podría indicar que un mecanismo potencialmente importante por el cual la actividad física mejora la condición física cardiorrespiratoria es por la vía de reducir la masa grasa. Esta explicación esta soportada por el análisis de regresión lineal, mostrando como el % de grasa y la edad explicaban el 72% de la varianza en el  $\text{VO}_2$  max, mientras que la actividad física no contribuía con ninguna capacidad predictiva.

**(7)**

---

**CONCLUSIONES**

---

Las principales conclusiones de este estudio son:

1. La adiposidad corporal es el factor que mejor explica la variabilidad del consumo máximo de oxígeno en adultos saludables, antes que la cantidad y tipo de actividad física que se hace o la edad que se tiene, con un grado de explicabilidad superior al 50%.
2. El gasto energético en actividades físicas moderadas y vigorosas, evaluado con la versión corta del IPAQ, está asociado inversa y moderadamente con diversos indicadores de adiposidad corporal (% de grasa corporal, índice abdomen/cadera y circunferencia del abdomen).
3. El gasto energético de caminar se relaciona positivamente con la adiposidad (% grasa, índice abdomen/cadera y circunferencia del abdomen); pero esto no implica que caminar promueva la obesidad y es plausible que sea una actividad física “refugio” de quienes tienen escasa condición física o niveles elevados de adiposidad. Futuros estudios podrían examinar esta cuestión para direccionar adecuadamente dicha relación.
4. La condición física muscular (fuerza máxima, capacidad de salto, capacidad anaeróbica, velocidad) no guarda relación con ninguna de las dimensiones del gasto energético, sea caminar, moderado o vigoroso, ni tampoco con las categorías de actividad física evaluadas a través de la versión corta del IPAQ.
5. La condición física cardiorrespiratoria y la adiposidad guardan relación con las categorías de actividad física derivadas del IPAQ, pero esta relación solo se observa al comparar el grupo insuficientemente activos vs. suficientemente activos. Así, la versión corta del IPAQ es sensible para discriminar diferencias de composición corporal, antropometría y capacidad cardiorrespiratorio en el nivel de las recomendaciones públicas de actividad física, pero no entre el nivel superior vs. intermedio, en línea con la teoría de una relación curvilínea entre la actividad física y los beneficios de salud.



**(8)**

---

**REFERENCIAS**

---

- Affenito SG, Thompson DR, Barton BA, Franko DL, Daniels SR, Obarzanek E, Schreiber GB, Striegel-Moore RH (2005) Breakfast consumption by African-American and white adolescent girls correlates positively with calcium and fiber intake and negatively with body mass index. *J Am Diet Assoc* 105: 938-945
- Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR, Jr., Montoye HJ, Sallis JF, Paffenbarger RS, Jr. (1993) Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 25: 71-80
- Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, Bassett DR, Jr., Schmitz KH, Emplaincourt PO, Jacobs DR, Jr., Leon AS (2000) Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 32: S498-504
- Andersen LB, Harro M, Sardinha LB, Froberg K, Ekelund U, Brage S, Anderssen SA (2006) Physical activity and clustered cardiovascular risk in children: a cross-sectional study (The European Youth Heart Study). *Lancet* 368: 299-304
- Andersen LB, Sardinha LB, Froberg K, Riddoch CJ, Page AS, Anderssen SA (2008) Fitness, fatness and clustering of cardiovascular risk factors in children from Denmark, Estonia and Portugal: the European Youth Heart Study. *Int J Ped Obes* 3 Suppl 1: 58-66
- Andreasen CH, Stender-Petersen KL, Mogensen MS, Torekov SS, Wegner L, Andersen G, Nielsen AL, Albrechtsen A, Borch-Johnsen K, Rasmussen SS, Clausen JO, Sandbaek A, Lauritzen T, Hansen L, Jorgensen T, Pedersen O, Hansen T (2008) Low physical activity accentuates the effect of the FTO rs9939609 polymorphism on body fat accumulation. *Diabetes* 57: 95-101
- Ara I, Larsen S, Stallknecht B, Guerra B, Morales-Alamo D, Andersen JL, Ponce-Gonzalez JG, Guadalupe-Grau A, Galbo H, Calbet JA, Helge JW (2010) Normal mitochondrial function and increased fat oxidation capacity in leg and arm muscles in obese humans. *Int J Obes* (2005)
- Ara I, Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J, Dorado C, Serrano-Sanchez JA, Calbet JA (2004) Regular participation in sports is associated with enhanced physical fitness and lower fat mass in prepubertal boys. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 1585-1593
- Ara I, Vicente-Rodriguez G, Perez-Gomez J, Jimenez-Ramirez J, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2006) Influence of extracurricular sport activities on body composition and physical fitness in boys: a 3-year longitudinal study. *Int J Obes (London)* 30: 1062-1071
- Arenz S, Ruckerl R, Koletzko B, von Kries R (2004) Breast-feeding and childhood obesity--a systematic review. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 1247-1256
- Armstrong J, Reilly JJ (2002) Breastfeeding and lowering the risk of childhood obesity. *Lancet* 359: 2003-2004
- Armstrong N, Welsman J (1997) *Young People and Physical Activity*. Oxford University Press, Oxford

- Baird J, Fisher D, Lucas P, Kleijnen J, Roberts H, Law C (2005) Being big or growing fast: systematic review of size and growth in infancy and later obesity. *BMJ* 331: 929
- Barbeau P, Johnson MH, Howe CA, Allison J, Davis CL, Gutin B, Lemmon CR (2007) Ten months of exercise improves general and visceral adiposity, bone, and fitness in black girls. *Obesity (Silver Spring)* 15: 2077-2085
- Barton BA, Eldridge AL, Thompson D, Affenito SG, Striegel-Moore RH, Franko DL, Albertson AM, Crockett SJ (2005) The relationship of breakfast and cereal consumption to nutrient intake and body mass index: the National Heart, Lung, and Blood Institute Growth and Health Study. *J Am Diet Assoc* 105: 1383-1389
- Bellizzi MC, Dietz WH (1999) Workshop on childhood obesity: summary of the discussion. *Am J Clin Nutr* 70: 173S-175S
- Bernstein MS, Costanza MC, Morabia A (2004) Association of physical activity intensity levels with overweight and obesity in a population-based sample of adults. *Prev Med* 38: 94-104
- Bi S, Scott KA, Hyun J, Ladenheim EE, Moran TH (2005) Running wheel activity prevents hyperphagia and obesity in Otsuka long-evans Tokushima Fatty rats: role of hypothalamic signaling. *Endocrinology* 146: 1676-1685
- Blair SN, Cheng Y, Holder JS (2001) Is physical activity or physical fitness more important in defining health benefits? *Med Sci Sports Exerc* 33: S379-399; discussion S419-320
- Blair SN, Church TS (2004) The fitness, obesity, and health equation: is physical activity the common denominator? *JAMA* 292: 1232-1234
- Bogen DL, Hanusa BH, Whitaker RC (2004) The effect of breast-feeding with and without formula use on the risk of obesity at 4 years of age. *Obes Res* 12: 1527-1535
- Bonnefoy M, Kostka T, Berthouze SE, Lacour JR (1996) Validation of a physical activity questionnaire in the elderly. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 74: 528-533
- Boon RM, Hamlin MJ, Steel GD, Ross JJ (2008) Validation of the New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ-LF) and the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-LF) with Accelerometry. *Br J Sports Med* 44: 741-746
- Bouchard C, Pérusse L (1994 ) *Physical activity, fitness and health: the model and key concepts*. In: Bouchard C, Shephard, R., Stephens, T (ed) *Physical activity, fitness and health International proceedings and consensus statement*. Human Kinetics, Champaign, IL, pp. 106-118
- Bouchard C, Rankinen T (2001) Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 33: S446-451; discussion S452-443

- Bouchard C, Shephard R, Stephens T (1994) *Physical activity, fitness, and health: international proceedings and consensus statement*. Human Kinetics, Champaign, IL
- Bouchard C, Shephard RJ (1994 ) *Physical activity, fitness and health: the model and key concepts*. In: Bouchard C, Shephard, R., Stephens, T (ed) *Physical activity, fitness and health International proceedings and consensus statement*. Human Kinetics, Champaign, IL, pp. 77-88
- Bratteby LE, Sandhagen B, Lotborn M, Samuelson G (1997) Daily energy expenditure and physical activity assessed by an activity diary in 374 randomly selected 15-year-old adolescents. *Eur J Clin Nutr* 51: 592-600
- Bray GA, Paeratakul S, Popkin BM (2004) Dietary fat and obesity: a review of animal, clinical and epidemiological studies. *Physiol Behav* 83: 549-555
- Buchner DM (2009) Physical activity and prevention of cardiovascular disease in older adults. *Clin Geriatr Med* 25: 661-675, viii
- Burgert TS, Dziura J, Yeckel C, Taksali SE, Weiss R, Tamborlane W, Caprio S (2006) Microalbuminuria in pediatric obesity: prevalence and relation to other cardiovascular risk factors. *Int J Obes (2005)* 30: 273-280
- Calbet JA, Boushel R, Radegran G, Sondergaard H, Wagner PD, Saltin B (2003) Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 284: R291-303
- Calbet JA, Chavarren J, Dorado C (1997) Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76: 308-313
- Calbet JA, Dorado C, Diaz-Herrera P, Rodriguez-Rodriguez LP (2001) High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1682-1687
- Calbet JA, Moysi JS, Dorado C, Rodriguez LP (1998) Bone mineral content and density in professional tennis players. *Calcif Tissue Int* 62: 491-496
- Cale L, Harris J, Chen MH (2007) More than 10 years after "the horse is dead . . .": surely it must be time to "Dismount"?! *Pediatr Exerc Sci* 19: 115-123; discussion 123-131
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM (1985) Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 100: 126-131
- Cattaneo A, Monasta L, Stamatakis E, Lioret S, Castetbon K, Frenken F, Manios Y, Moschonis G, Savva S, Zaborskis A, Rito AI, Nanu M, Vignerová J, Caroli M, Ludvigsson J, Koch FS, Serra-Majem L, Szponar L, Lenthe Fv, Brug J (2009) Overweight and obesity in infants and pre-school children in the European Union: a review of existing data. *Obesity Review* 11: 389 - 398
- Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH (2000) Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *Bmj* 320: 1240-1243

- Connelly JB, Duaso MJ, Butler G (2007) A systematic review of controlled trials of interventions to prevent childhood obesity and overweight: a realistic synthesis of the evidence. *Public Health* 121: 510-517
- Cook S, Auinger P, Li C, Ford ES (2008) Metabolic syndrome rates in United States adolescents, from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2002. *The Journal of pediatrics* 152: 165-170
- Cook S, Weitzman M, Auinger P, Nguyen M, Dietz WH (2003) Prevalence of a metabolic syndrome phenotype in adolescents: findings from the third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *Arch Pediatr Adolesc Med* 157: 821-827
- Craig CL, Marshall AL, Sjoström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, Pratt M, Ekelund U, Yngve A, Sallis JF, Oja P (2003) International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1381-1395
- Crespo CJ, Smit E, Troiano RP, Bartlett SJ, Macera CA, Andersen RE (2001) Television watching, energy intake, and obesity in US children: results from the third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *Arch Pediatr Adolesc Med* 155: 360-365
- Cripps RL, Martin-Gronert MS, Ozanne SE (2005) Fetal and perinatal programming of appetite. *Clin Sci (Lond)* 109: 1-11
- Chandola T, Deary IJ, Blane D, Batty GD (2006) Childhood IQ in relation to obesity and weight gain in adult life: the National Child Development (1958) Study. *Int J Obes (2005)* 30: 1422-1432
- Chen X, Beydoun MA, Wang Y (2008) Is sleep duration associated with childhood obesity? A systematic review and meta-analysis. *Obesity (Silver Spring)* 16: 265-274
- de Vries E, Soerjomataram I, Lemmens VE, Coebergh JW, Barendregt JJ, Oenema A, Moller H, Brenner H, Renehan AG (2010) Lifestyle changes and reduction of colon cancer incidence in Europe: A scenario study of physical activity promotion and weight reduction. *Eur J Cancer* 46: 2605-2616
- Dencker M, Thorsson O, Karlsson MK, Linden C, Svensson J, Wollmer P, Andersen LB (2006) Daily physical activity and its relation to aerobic fitness in children aged 8-11 years. *Eur J App Physiol* 96: 587-592
- Despres JP, Lemieux I, Prud'homme D (2001) Treatment of obesity: need to focus on high risk abdominally obese patients. *BMJ (Clinical research)* 322: 716-720
- Dewey KG (1998) Growth characteristics of breast-fed compared to formula-fed infants. *Biol Neonate* 74: 94-105
- Dewey KG, Heinig MJ, Nommsen LA, Peerson JM, Lonnerdal B (1993) Breast-fed infants are leaner than formula-fed infants at 1 y of age: the DARLING study. *Am J Clin Nutr* 57: 140-145

- Donnelly JE, Greene JL, Gibson CA, Smith BK, Washburn RA, Sullivan DK, DuBose K, Mayo MS, Schmelzle KH, Ryan JJ, Jacobsen DJ, Williams SL (2009) Physical Activity Across the Curriculum (PAAC): a randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children. *Prev Med* 49: 336-341
- Dundar B, Dundar N, Erci T, Bober E, Buyukgebiz A (2005) Leptin levels in boys with pubertal gynecomastia. *J Pediatr Endocrinol Metab* 18: 929-934
- Dunn AL, Trivedi MH, O'Neal HA (2001) Physical activity dose-response effects on outcomes of depression and anxiety. *Med Sci Sports Exerc* 33: S587-597; discussion 609-510
- Dwyer T, Coonan WE, Leitch DR, Hetzel BS, Baghurst RA (1983) An investigation of the effects of daily physical activity on the health of primary school students in South Australia. *Int J Epidemiol* 12: 308-313
- Eklom-Bak E, Hellenius ML, Eklom O, Engstrom LM, Eklom B (2010) Independent associations of physical activity and cardiovascular fitness with cardiovascular risk in adults. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 17: 175-180
- Ekelund U, Sepp H, Brage S, Becker W, Jakes R, Hennings M, Wareham NJ (2006) Criterion-related validity of the last 7-day, short form of the International Physical Activity Questionnaire in Swedish adults. *Public Health Nutr* 9: 258-265
- Eliakim A, Friedland O, Kowen G, Wolach B, Nemet D (2004) Parental obesity and higher pre-intervention BMI reduce the likelihood of a multidisciplinary childhood obesity program to succeed--a clinical observation. *J Pediatr Endocrinol Metab* 17: 1055-1061
- Eliakim A, Makowski GS, Brasel JA, Cooper DM (2000) Adiposity, lipid levels, and brief endurance training in nonobese adolescent males. *Int J Sports Med* 21: 332-337
- Elosua R, Marrugat J, Molina L, Pons S, Pujol E (1994) Validation of the Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire in Spanish men. The MARATHOM Investigators. *Am J Epidemiol* 139: 1197-1209
- Ermis S, Cetin N, Tamar M, Bukusoglu N, Akdeniz F, Goksen D (2004) Is obesity a risk factor for psychopathology among adolescents? *Pediatr Int* 46: 296-301
- Ewart CK, Young DR, Hagberg JM (1998) Effects of school-based aerobic exercise on blood pressure in adolescent girls at risk for hypertension. *Am J Public Health* 88: 949-951
- Facchini F, Chen YD, Hollenbeck CB, Reaven GM (1991) Relationship between resistance to insulin-mediated glucose uptake, urinary uric acid clearance, and plasma uric acid concentration. *JAMA* 266: 3008-3011
- Finkelstein EA, Brown DS, Wraga LA, Allaire BT, Hoerger TJ (2009) Individual and Aggregate Years-of-life-lost Associated with Overweight and Obesity. *Obesity (Silver Spring)*

- Flodmark CE, Sveger T, Nilsson-Ehle P (1994) Waist measurement correlates to a potentially atherogenic lipoprotein profile in obese 12-14-year-old children. *Acta Paediatr* 83: 941-945
- Florian JP, Pawelczyk JA (2010) Non-esterified fatty acids increase arterial pressure via central sympathetic activation in humans. *Clin Sci (Lond)* 118: 61-69
- Flynn MA, McNeil DA, Maloff B, Mutasingwa D, Wu M, Ford C, Tough SC (2006) Reducing obesity and related chronic disease risk in children and youth: a synthesis of evidence with 'best practice' recommendations. *Obes Rev* 7 Suppl 1: 7-66
- Fogelholm M (2010) Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review. *Obes Rev* 11: 202-221
- Ford ES, Li C, Cook S, Choi HK (2007) Serum concentrations of uric acid and the metabolic syndrome among US children and adolescents. *Circulation* 115: 2526-2532
- Foster C (ed) (2000) *Guidelines for health-enhancing physical activity promotion programmes*
- UKK Institute for Health Promotion Research, Tampere, Finland
- Frayling TM, Timpson NJ, Weedon MN, Zeggini E, Freathy RM, Lindgren CM, Perry JR, Elliott KS, Lango H, Rayner NW, Shields B, Harries LW, Barrett JC, Ellard S, Groves CJ, Knight B, Patch AM, Ness AR, Ebrahim S, Lawlor DA, Ring SM, Ben-Shlomo Y, Jarvelin MR, Sovio U, Bennett AJ, Melzer D, Ferrucci L, Loos RJ, Barroso I, Wareham NJ, Karpe F, Owen KR, Cardon LR, Walker M, Hitman GA, Palmer CN, Doney AS, Morris AD, Smith GD, Hattersley AT, McCarthy MI (2007) A common variant in the FTO gene is associated with body mass index and predisposes to childhood and adult obesity. *Science* 316: 889-894
- Freedman DS, Dietz WH, Srinivasan SR, Berenson GS (1999) The relation of overweight to cardiovascular risk factors among children and adolescents: the Bogalusa Heart Study. *Pediatr* 103: 1175-1182
- Friedlander AL, Genant HK, Sadowsky S, Byl NN, Gluer CC (1995) A two-year program of aerobics and weight training enhances bone mineral density of young women. *J Bone Miner Res* 10: 574-585
- Garcia-Artero E, Ortega FB, Ruiz JR, Mesa JL, Delgado M, Gonzalez-Gross M, Garcia-Fuentes M, Vicente-Rodriguez G, Gutierrez A, Castillo MJ (2007) [Lipid and metabolic profiles in adolescents are affected more by physical fitness than physical activity (AVENA study)]. *Rev Esp Cardiol* 60: 581-588
- Gerken T, Girard CA, Tung YC, Webby CJ, Saudek V, Hewitson KS, Yeo GS, McDonough MA, Cunliffe S, McNeill LA, Galvanovskis J, Rorsman P, Robins P, Prieur X, Coll AP, Ma M, Jovanovic Z, Farooqi IS, Sedgwick B, Barroso I, Lindahl T, Ponting CP, Ashcroft FM, O'Rahilly S, Schofield CJ (2007) The

- obesity-associated FTO gene encodes a 2-oxoglutarate-dependent nucleic acid demethylase. *Science* 318: 1469-1472
- Gillman MW, Rifas-Shiman SL, Berkey CS, Frazier AL, Rockett HR, Camargo CA, Jr., Field AE, Colditz GA (2006) Breast-feeding and overweight in adolescence: within-family analysis [corrected]. *Epidemiol* 17: 112-114
- Gillman MW, Rifas-Shiman SL, Camargo CA, Jr., Berkey CS, Frazier AL, Rockett HR, Field AE, Colditz GA (2001) Risk of overweight among adolescents who were breastfed as infants. *JAMA* 285: 2461-2467
- Gomez-Cabello A, Pedrero-Chamizo R, Olivares PR, Luzardo L, Juez-Bengoechea A, Mata E, Albers U, Aznar S, Villa G, Espino L, Gusi N, Gonzalez-Gross M, Casajus JA, Ara I (2011) Prevalence of overweight and obesity in non-institutionalized people aged 65 or over from Spain: the elderly EXERNET multi-centre study. *Obes Rev* 12: 583-592
- Gonzalez-Sanchez JL, Zabena C, Martinez-Larrad MT, Martinez-Calatrava MJ, Perez-Barba M, Serrano-Rios M (2009) Variant rs9939609 in the FTO gene is associated with obesity in an adult population from Spain. *Clin Endocrinol (Oxf)* 70: 390-393
- Guo SS, Chumlea WC (1999) Tracking of body mass index in children in relation to overweight in adulthood. *Am J Clin Nutr* 70: 145S-148S
- Gutin B, Yin Z, Humphries MC, Barbeau P (2005) Relations of moderate and vigorous physical activity to fitness and fatness in adolescents. *Am J Clin Nutr* 81: 746-750
- Gutin B, Yin Z, Johnson M, Barbeau P (2008) Preliminary findings of the effect of a 3-year after-school physical activity intervention on fitness and body fat: the Medical College of Georgia FitKid Project. *Int J Pediatr* 3 Suppl 1: 3-9
- Haarbo J, Gotfredsen A, Hassager C, Christiansen C (1991) Validation of body composition by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Clin Physiol* 11: 331-341
- Hagner W, Hagner-Derengowska M, Wiacek M, Zubrzycki IZ (2009) Changes in level of VO<sub>2</sub> max, blood lipids, and waist circumference in the response to moderate endurance training as a function of ovarian aging. *Menopause* 16: 1009-1013
- Hagstromer M, Oja P, Sjostrom M (2006) The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity. *Public Health Nutr* 9: 755-762
- Hamosh M (2001) Bioactive factors in human milk. *Pediatr Clin North Am* 48: 69-86
- Hansen SE, Hasselstrom H, Gronfeldt V, Froberg K, Andersen LB (2005) Cardiovascular disease risk factors in 6-7-year-old Danish children: the Copenhagen School Child Intervention Study. *Prev Med* 40: 740-746
- Harder T, Bergmann R, Kallischnigg G, Plogemann A (2005) Duration of breastfeeding and risk of overweight: a meta-analysis. *Am J Epidemiol* 162: 397-403



- Harrell JS, McMurray RG, Bangdiwala SI, Frauman AC, Gansky SA, Bradley CB (1996) Effects of a school-based intervention to reduce cardiovascular disease risk factors in elementary-school children: the Cardiovascular Health in Children (CHIC) study. *J Pediatr* 128: 797-805
- Haskell WL (1994) J.B. Wolffe Memorial Lecture. Health consequences of physical activity: understanding and challenges regarding dose-response. *Med Sci Sports Exerc* 26: 649-660
- Haskell WL (2001) What to look for in assessing responsiveness to exercise in a health context. *Med Sci Sports Exerc* 33: S454-458; discussion S493-454
- Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A (2007) Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 116: 1081-1093
- Hasselstrom H, Hansen SE, Froberg K, Andersen LB (2002) Physical fitness and physical activity during adolescence as predictors of cardiovascular disease risk in young adulthood. Danish Youth and Sports Study. An eight-year follow-up study. *Int J Sports Med* 23 Suppl 1: S27-31
- Havlik RJ, Phillips CL, Brock DB, Lohman K, Haskell W, Snell P, O'Toole M, Ribisl P, Vaitkevicius P, Spurgeon HA, Lakatta EG, Pullen P (2005) Walking may be related to less vascular stiffness in the Activity Counseling Trial (ACT). *Am Heart J* 150: 270-275
- Howley ET (2001) Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 33: S364-369; discussion S419-320
- Hurtig-Wennlof A, Ruiz JR, Harro M, Sjostrom M (2007) Cardiorespiratory fitness relates more strongly than physical activity to cardiovascular disease risk factors in healthy children and adolescents: the European Youth Heart Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 14: 575-581
- IPAQ research committee (2005) Guidelines for data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). <http://www.ipaqkise/scoringpdf>
- Jacka FN, Pasco JA, Williams LJ, Leslie ER, Dodd S, Nicholson GC, Kotowicz MA, Berk M (2011) Lower levels of physical activity in childhood associated with adult depression. *J Sci Med Sport* 14: 222-226
- James WP (2006) The challenge of childhood obesity. *Int J Pediatr Obes* 1: 7-10
- Johnson-Kozlow M, Sallis JF, Gilpin EA, Rock CL, Pierce JP (2006) Comparative validation of the IPAQ and the 7-Day PAR among women diagnosed with breast cancer. *Int J Behav Nutr Phys Act* 3: 7
- Kawaguchi M, Scott KA, Moran TH, Bi S (2005) Dorsomedial hypothalamic corticotropin-releasing factor mediation of exercise-induced anorexia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 288: R1800-1805

- Kelishadi R, Cook SR, Adibi A, Faghihimani Z, Ghatreh Samani S, Beihaghi A, Salehi H, Khavarian N, Poursafa P (2009a) Association of the components of the metabolic syndrome with non- alcoholic fatty liver disease among normal-weight, overweight and obese children and adolescents. *Diabetol Metab Syndr* 1: 29
- Kelishadi R, Cook SR, Amra B, Adibi A (2009b) Factors associated with insulin resistance and non-alcoholic fatty liver disease among youths. *Atherosclerosis* 204: 538-543
- Kelishadi R, Cook SR, Motlagh ME, Gouya MM, Ardalan G, Motaghian M, Majdzadeh R, Ramezani MA (2008) Metabolically obese normal weight and phenotypically obese metabolically normal youths: the CASPIAN Study. *J Am Diet Assoc* 108: 82-90
- Kelley DE, Goodpaster BH (2001) Effects of exercise on glucose homeostasis in Type 2 diabetes mellitus. *Med Sci Sports Exerc* 33: S495-501; discussion S528-499
- Kemper HCG, Koppes LLJ (2002) Linking Physical Activity and Aerobic Fitness: Are We Active Because We Are Fit, or Are We Fit Because We Are Active? *Pediatr Exerc Sci* 18: 173-181
- Kesaniemi YK, Danforth E, Jr., Jensen MD, Kopelman PG, Lefebvre P, Reeder BA (2001) Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Med Sci Sports Exerc* 33: S351-358
- Kramer MS (1981) Do breast-feeding and delayed introduction of solid foods protect against subsequent obesity? *J Pediatr* 98: 883-887
- Kramer MS, Guo T, Platt RW, Vanilovich I, Sevkovskaya Z, Dzikovich I, Michaelsen KF, Dewey K (2004) Feeding effects on growth during infancy. *J Pediatr* 145: 600-605
- Kramer MS, Matush L, Vanilovich I, Platt RW, Bogdanovich N, Sevkovskaya Z, Dzikovich I, Shishko G, Collet JP, Martin RM, Davey Smith G, Gillman MW, Chalmers B, Hodnett E, Shapiro S (2007) Effects of prolonged and exclusive breastfeeding on child height, weight, adiposity, and blood pressure at age 6.5 y: evidence from a large randomized trial. *Am J Clin Nutr* 86: 1717-1721
- Krebs NF, Jacobson MS (2003) Prevention of pediatric overweight and obesity. *Pediatr* 112: 424-430
- Kurtze N, Rangul V, Hustvedt BE (2008) Reliability and validity of the international physical activity questionnaire in the Nord-Trøndelag health study (HUNT) population of men. *BMC medical research methodology* 8: 63
- Labayen I, Ortega FB, Sjostrom M, Ruiz JR (2009) Early life origins of low-grade inflammation and atherosclerosis risk in children and adolescents. *J Pediatr* 155: 673-677
- Lauer RM, Lee J, Clarke WR (1988) Factors affecting the relationship between childhood and adult cholesterol levels: the Muscatine Study. *Pediatr* 82: 309-318

- Laukkanen JA, Lakka TA, Rauramaa R, Kuhanen R, Venalainen JM, Salonen R, Salonen JT (2001) Cardiovascular fitness as a predictor of mortality in men. *Arch Intern Med* 161: 825-831
- Leduc L, Levy E, Bouity-Voubou M, Delvin E (2010) Fetal programming of atherosclerosis: Possible role of the mitochondria. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*
- Lee IM, Skerrett PJ (2001) Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? *Med Sci Sports Exerc* 33: S459-471; discussion S493-454
- Lee JM, Okumura MJ, Davis MM, Herman WH, Gurney JG (2006) Prevalence and determinants of insulin resistance among U.S. adolescents: a population-based study. *Diabetes Care* 29: 2427-2432
- Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J (1988) The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 6: 93-101
- Leon AS, Casal D, Jacobs D, Jr. (1996) Effects of 2,000 kcal per week of walking and stair climbing on physical fitness and risk factors for coronary heart disease. *J Cardiopulm Rehabil* 16: 183-192
- Lewis BJ, McCall MJ, Green AR, Bennett LG, Pierre M, Schrewe UJ, O'Brien K, Felsberger E (2001) Aircrew exposure from cosmic radiation on commercial airline routes. *Radiat Prot Dosimetry* 93: 293-314
- Libuda L, Kersting M (2009) Soft drinks and body weight development in childhood: is there a relationship? *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care* 12: 596-600
- Lobstein T, Baur L, Uauy R (2004) Obesity in children and young people: a crisis in public health. *Obes Rev* 5 Suppl 1: 4-104
- Lobstein T, Frelut ML (2003) Prevalence of overweight among children in Europe. *Obes Rev* 4: 195-200
- Loos RJ, Bouchard C (2008) FTO: the first gene contributing to common forms of human obesity. *Obes Rev* 9: 246-250
- Lopez-Bermejo A, Petry CJ, Diaz M, Sebastiani G, de Zegher F, Dunger DB, Ibanez L (2008) The association between the FTO gene and fat mass in humans develops by the postnatal age of two weeks. *J Clin Endocrinol Metab* 93: 1501-1505
- Lorentzon M, Mellstrom D, Ohlsson C (2005) Association of amount of physical activity with cortical bone size and trabecular volumetric BMD in young adult men: the GOOD study. *J Bone Miner Res* 20: 1936-1943
- Maddison R, Ni Mhurchu C, Jiang Y, Vander Hoorn S, Rodgers A, Lawes CM, Rush E (2007) International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ): A doubly labelled water validation. *Int J Behav Nutr Phys Act* 4: 62
- Mader U, Martin BW, Schutz Y, Marti B (2006) Validity of four short physical activity questionnaires in middle-aged persons. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1255-1266

- Malik VS, Schulze MB, Hu FB (2006) Intake of sugar-sweetened beverages and weight gain: a systematic review. *Am J Clin Nutr* 84: 274-288
- Malina RM (2001) Physical activity and fitness: pathways from childhood to adulthood. *Am J Hum Biol* 13: 162-172
- Malina RM, Katzmarzyk PT (2006) Physical activity and fitness in an international growth standard for preadolescent and adolescent children. *Food Nutr Bull* 27: S295-313
- Martinez-Vizcaino V, Sanchez-Lopez M (2008) [Relationship between physical activity and physical fitness in children and adolescents]. *Rev Esp Cardiol* 61: 108-111
- Martinez Vizcaino V, Salcedo Aguilar F, Franquelo Gutierrez R, Solera Martinez M, Sanchez Lopez M, Serrano Martinez S, Lopez Garcia E, Rodriguez Artalejo F (2008) Assessment of an after-school physical activity program to prevent obesity among 9- to 10-year-old children: a cluster randomized trial. *Int J Obes* 32: 12-22
- Martinez Vizcaino V, Salcedo Aguilar F, Franquelo Gutierrez R, Torrijos Regidor R, Morant Sanchez A, Solera Martinez M, Rodriguez Artalejo F (2006) [Prevalence of obesity and trends in cardiovascular risk factors among Spanish school children, 1992-2004: the Cuenca (Spain) study]. *Medicina Clinica* 126: 681-685
- Martins C, Morgan L, Truby H (2008) A review of the effects of exercise on appetite regulation: an obesity perspective. *Int J Obes ( 2005)* 32: 1337-1347
- Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J (1990) Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr* 51: 1106-1112
- McArdle WD, Katch FI, V.L. K (2006) *Exercise Physiology; energy, nutrition and human performance*, Baltimore, Maryland,
- McGill HC, Jr., McMahan CA, Tracy RE, Oalman MC, Cornhill JF, Herderick EE, Strong JP (1998) Relation of a postmortem renal index of hypertension to atherosclerosis and coronary artery size in young men and women. Pathobiological Determinants of Atherosclerosis in Youth (PDAY) Research Group. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 18: 1108-1118
- Mellecker RR, McManus AM (2008) Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 162: 886-891
- Miralles O, Sanchez J, Palou A, Pico C (2006) A physiological role of breast milk leptin in body weight control in developing infants. *Obesity (Silver Spring)* 14: 1371-1377
- Monteiro PO, Victora CG (2005) Rapid growth in infancy and childhood and obesity in later life--a systematic review. *Obes Rev* 6: 143-154

- Moore LL, Gao D, Bradlee ML, Cupples LA, Sundarajan-Ramamurti A, Proctor MH, Hood MY, Singer MR, Ellison RC (2003) Does early physical activity predict body fat change throughout childhood? *Prev Med* 37: 10-17
- Muhlhausler BS (2007) Programming of the appetite-regulating neural network: a link between maternal overnutrition and the programming of obesity? *J Neuroendocrinol* 19: 67-72
- Mummery K, Schofield G, Caperchione C (2004) Physical activity dose-response effects on mental health status in older adults. *Aust N Z J Public Health* 28: 188-192
- Must A, Bandini LG, Tybor DJ, Phillips SM, Naumova EN, Dietz WH (2007) Activity, inactivity, and screen time in relation to weight and fatness over adolescence in girls. *Obesity (Silver Spring)* 15: 1774-1781
- Must A, Barish EE, Bandini LG (2009) Modifiable risk factors in relation to changes in BMI and fatness: what have we learned from prospective studies of school-aged children? *Int J Obes ( 2005)* 33: 705-715
- Must A, Jacques PF, Dallal GE, Bajema CJ, Dietz WH (1992) Long-term morbidity and mortality of overweight adolescents. A follow-up of the Harvard Growth Study of 1922 to 1935. *N Engl J Med* 327: 1350-1355
- Must A, Parisi SM (2009) Sedentary behavior and sleep: paradoxical effects in association with childhood obesity. *Int J Obes ( 2005)* 33 Suppl 1: S82-86
- Nakagawa T, Hu H, Zharikov S, Tuttle KR, Short RA, Glushakova O, Ouyang X, Feig DI, Block ER, Herrera-Acosta J, Patel JM, Johnson RJ (2006) A causal role for uric acid in fructose-induced metabolic syndrome. *Am J Physiol Renal Physiol* 290: F625-631
- Nelson MC, Gordon-Larsen P, Adair LS (2005) Are adolescents who were breast-fed less likely to be overweight? Analyses of sibling pairs to reduce confounding. *Epidemiol* 16: 247-253
- Nguyen QM, Srinivasan SR, Xu JH, Chen W, Kieltyka L, Berenson GS (2009) Utility of childhood glucose homeostasis variables in predicting adult diabetes and related cardiometabolic risk factors: the Bogalusa Heart Study. *Diabetes Care*
- Nissinen K, Mikkila V, Mannisto S, Lahti-Koski M, Rasanen L, Viikari J, Raitakari OT (2009) Sweets and sugar-sweetened soft drink intake in childhood in relation to adult BMI and overweight. The Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Public Health Nutr* 12: 2018-2026
- Nokes N (2009) Relationship between physical activity and aerobic fitness. *J Sports Med Phys Fitness* 49: 136-141
- O'Loughlin J, Gray-Donald K, Paradis G, Meshefedjian G (2000) One- and two-year predictors of excess weight gain among elementary schoolchildren in multiethnic, low-income, inner-city neighborhoods. *Am J Epidemiol* 152: 739-746

- Oja P, Borms J (2004) *Health enhancing physical activity*. Meyer & Meyer Sport, Oxford, UK
- Ong KK, Loos RJ (2006) Rapid infancy weight gain and subsequent obesity: systematic reviews and hopeful suggestions. *Acta Paediatr* 95: 904-908
- Ortega FB, Ruiz JR, Castillo MJ, Sjostrom M (2008) Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes ( 2005)* 32: 1-11
- Owen CG, Martin RM, Whincup PH, Smith GD, Cook DG (2005) Effect of infant feeding on the risk of obesity across the life course: a quantitative review of published evidence. *Pediatr* 115: 1367-1377
- Paalanne NP, Korpelainen RI, Taimela SP, Auvinen JP, Tammelin TH, Hietikko TM, Kaikkonen HS, Kaikkonen KM, Karppinen JI (2009) Muscular fitness in relation to physical activity and television viewing among young adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 1997-2002
- Papathanasiou G, Georgoudis G, Georgakopoulos D, Katsouras C, Kalfakakou V, Evangelou A (2009) Criterion-related validity of the short International Physical Activity Questionnaire against exercise capacity in young adults. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*
- Pate RR, Pratt M, Blair S, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath GW, King AC, Kriska A, Eon AS, Marcus BH, Morris J, Paffenbarger RS, Patrick K, Pollock ML, Rippe JM, Sallis J, Wilmore JH (1995) Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 273: 402-407
- Petersen L, Schnohr P, Sorensen TI (2004) Longitudinal study of the long-term relation between physical activity and obesity in adults. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 105-112
- Philippaerts RM, Westerterp KR, Lefevre J (1999) Doubly labelled water validation of three physical activity questionnaires. *Int J Sports Med* 20: 284-289
- Plagemann A, Harder T, Kohlhoff R, Rohde W, Dorner G (1997) Overweight and obesity in infants of mothers with long-term insulin-dependent diabetes or gestational diabetes. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 451-456
- Popkin BM, Udry JR (1998) Adolescent obesity increases significantly in second and third generation U.S. immigrants: the National Longitudinal Study of Adolescent Health. *J Nutr* 128: 701-706
- Proctor DN, Koch DW, Newcomer SC, Le KU, Leuenberger UA (2003) Impaired leg vasodilation during dynamic exercise in healthy older women. *J Appl Physiol* 95: 1963-1970
- Rabbia F, Silke B, Conterno A, Grosso T, De Vito B, Rabbone I, Chiandussi L, Veglio F (2003) Assessment of cardiac autonomic modulation during adolescent obesity. *Obes Res* 11: 541-548
- Rampersaud E, Mitchell BD, Pollin TI, Fu M, Shen H, O'Connell JR, Ducharme JL, Hines S, Sack P, Naglieri R, Shuldiner AR, Snitker S (2008) Physical activity

- and the association of common FTO gene variants with body mass index and obesity. *Arch Intern Med* 168: 1791-1797
- Rankinen T, Rice T, Teran-Garcia M, Rao DC, Bouchard C (2010) FTO genotype is associated with exercise training-induced changes in body composition. *Obesity (Silver Spring)* 18: 322-326
- Rarick GL, Smoll FL (1967) Stability of growth in strength and motor performance from childhood to adolescence. *Hum Biol* 39: 295-306
- Razquin C, Martinez JA, Martinez-Gonzalez MA, Bes-Rastrollo M, Fernandez-Crehuet J, Marti A (2010) A 3-year intervention with a Mediterranean diet modified the association between the rs9939609 gene variant in FTO and body weight changes. *Int J Obes ( 2005)* 34: 266-272
- Reed KE, Warburton DE, Macdonald HM, Naylor PJ, McKay HA (2008) Action Schools! BC: a school-based physical activity intervention designed to decrease cardiovascular disease risk factors in children. *Prev Med* 46: 525-531
- Rendo T, Molerés A, Marti Del Moral A (2009) Effects of the FTO Gene on Lifestyle Intervention Studies in Children. *Obesity facts* 2: 393-399
- Robinson TN (1999) Reducing children's television viewing to prevent obesity: a randomized controlled trial. *JAMA* 282: 1561-1567
- Roeykens J, Rogers R, Meeusen R, Magnus L, Borms J, de Meirleir K (1998) Validity and reliability in a Flemish population of the WHO-MONICA Optional Study of Physical Activity Questionnaire. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1071-1075
- Rzewnicki R, Vanden Auweele Y, De Bourdeaudhuij I (2003) *Addressing over-reporting on the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) telephone survey with a population sample.* pp. 299 - 305
- Saltin B, Rowell LB (1980) Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Fed Proc* 39: 1506-1513
- Savino F, Liguori SA (2008) Update on breast milk hormones: leptin, ghrelin and adiponectin. *Clin Nutr* 27: 42-47
- Scott LJ, Mohlke KL, Bonnycastle LL, Willer CJ, Li Y, Duren WL, Erdos MR, Stringham HM, Chines PS, Jackson AU, Prokunina-Olsson L, Ding CJ, Swift AJ, Narisu N, Hu T, Pruim R, Xiao R, Li XY, Conneely KN, Riebow NL, Sprau AG, Tong M, White PP, Hetrick KN, Barnhart MW, Bark CW, Goldstein JL, Watkins L, Xiang F, Saramies J, Buchanan TA, Watanabe RM, Valle TT, Kinnunen L, Abecasis GR, Pugh EW, Doheny KF, Bergman RN, Tuomilehto J, Collins FS, Boehnke M (2007) A genome-wide association study of type 2 diabetes in Finns detects multiple susceptibility variants. *Science* 316: 1341-1345
- Scheeres K, Knoop H, Meer J, Bleijenberg G (2009) Clinical assessment of the physical activity pattern of chronic fatigue syndrome patients: a validation of three methods. *Health and quality of life outcomes* 7: 29

- Schoenborn CA, Stommel M (2011) Adherence to the 2008 adult physical activity guidelines and mortality risk. *Am J Prev Med* 40: 514-521
- Schwimmer JB, Pardee PE, Lavine JE, Blumkin AK, Cook S (2008) Cardiovascular risk factors and the metabolic syndrome in pediatric nonalcoholic fatty liver disease. *Circulation* 118: 277-283
- Segal KR, Dietz WH (1991) Physiologic responses to playing a video game. *Am J Dis Child* 145: 1034-1036
- Serra Majem L, Ribas Barba L, Aranceta Bartrina J, Perez Rodrigo C, Saavedra Santana P, Peña Quintana L (2003) [Childhood and adolescent obesity in Spain. Results of the enKid study (1998-2000)]. *Medicina Clínica* 121: 725-732
- Shephard RJ (2003) Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires. *Br J Sports Med* 37: 197-206; discussion 206
- Silventoinen K, Rokholm B, Kaprio J, Sorensen TI (2010) The genetic and environmental influences on childhood obesity: a systematic review of twin and adoption studies. *Int J Obes ( 2005)* 34: 29-40
- Silverman BL, Rizzo T, Green OC, Cho NH, Winter RJ, Ogata ES, Richards GE, Metzger BE (1991) Long-term prospective evaluation of offspring of diabetic mothers. *Diabetes* 40 Suppl 2: 121-125
- Simon C, Schweitzer B, Oujaa M, Wagner A, Arveiler D, Tribby E, Copin N, Blanc S, Platat C (2008) Successful overweight prevention in adolescents by increasing physical activity: a 4-year randomized controlled intervention. *Int J Obes ( 2005)* 32: 1489-1498
- Skinner J, Oja P (1994) *Laboratory and field tests for assessing health-related fitness*. In: Bouchard C, Shephard, R., Stephens, T. (ed) *Physical activity, fitness and health*. Human Kinetics Publishers, Champaign, IL, pp. 160-179
- Spirduso WW, Cronin DL (2001) Exercise dose-response effects on quality of life and independent living in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33: S598-608; discussion S609-510
- Stettler N, Kumanyika SK, Katz SH, Zemel BS, Stallings VA (2003) Rapid weight gain during infancy and obesity in young adulthood in a cohort of African Americans. *Am J Clin Nutr* 77: 1374-1378
- Stofan JR, DiPietro L, Davis D, Kohl HW, 3rd, Blair SN (1998) Physical activity patterns associated with cardiorespiratory fitness and reduced mortality: the Aerobics Center Longitudinal Study. *Am J Public Health* 88: 1807-1813
- Stratigopoulos G, Padilla SL, LeDuc CA, Watson E, Hattersley AT, McCarthy MI, Zeltser LM, Chung WK, Leibel RL (2008) Regulation of Fto/Ftm gene expression in mice and humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 294: R1185-1196
- Strauss RS, Pollack HA (2003) Social marginalization of overweight children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 157: 746-752



- Sugiyama T, Healy GN, Dunstan DW, Salmon J, Owen N (2008) Joint associations of multiple leisure-time sedentary behaviours and physical activity with obesity in Australian adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 5: 35
- Summerbell CD, Douthwaite W, Whittaker V, Ells LJ, Hillier F, Smith S, Kelly S, Edmunds LD, Macdonald I (2009) The association between diet and physical activity and subsequent excess weight gain and obesity assessed at 5 years of age or older: a systematic review of the epidemiological evidence. *Int J Obes ( 2005)* 33 Suppl 3: S1-92
- Summerbell CD, Waters E, Edmunds LD, Kelly S, Brown T, Campbell KJ (2005) Interventions for preventing obesity in children. *Cochrane database of systematic reviews (Online)*: CD001871
- Tait AR, Voepel-Lewis T, Burke C, Kostrzewa A, Lewis I (2008) Incidence and risk factors for perioperative adverse respiratory events in children who are obese. *Anesthesiology* 108: 375-380
- Taittonen L, Uhari M, Nuutinen M, Turtinen J, Pokka T, Akerblom HK (1996) Insulin and blood pressure among healthy children. Cardiovascular risk in young Finns. *Am J Hypertens* 9: 194-199
- Taksali SE, Caprio S, Dziura J, Dufour S, Cali AM, Goodman TR, Papademetris X, Burgert TS, Pierpont BM, Savoye M, Shaw M, Seyal AA, Weiss R (2008) High visceral and low abdominal subcutaneous fat stores in the obese adolescent: a determinant of an adverse metabolic phenotype. *Diabetes* 57: 367-371
- Tapanainen P, Leinonen E, Ruokonen A, Knip M (2001) Leptin concentrations are elevated in newborn infants of diabetic mothers. *Horm Res* 55: 185-190
- Taras HL, Sallis JF, Patterson TL, Nader PR, Nelson JA (1989) Television's influence on children's diet and physical activity. *J Dev Behav Pediatr* 10: 176-180
- Taveras EM, Berkey CS, Rifas-Shiman SL, Ludwig DS, Rockett HR, Field AE, Colditz GA, Gillman MW (2005) Association of consumption of fried food away from home with body mass index and diet quality in older children and adolescents. *Pediatr* 116: e518-524
- Taylor RW, Jones IE, Williams SM, Goulding A (2000) Evaluation of waist circumference, waist-to-hip ratio, and the conicity index as screening tools for high trunk fat mass, as measured by dual-energy X-ray absorptiometry, in children aged 3-19 y. *Am J Clin Nutr* 72: 490-495
- Teegala SM, Willett WC, Mozaffarian D (2009) Consumption and health effects of trans fatty acids: a review. *J AOAC Int* 92: 1250-1257
- Ter Maaten JC, Voorburg A, Heine RJ, Ter Wee PM, Donker AJ, Gans RO (1997) Renal handling of urate and sodium during acute physiological hyperinsulinaemia in healthy subjects. *Clin Sci (Lond)* 92: 51-58
- Teychenne M, Ball K, Salmon J (2008) Physical activity and likelihood of depression in adults: a review. *Prev Med* 46: 397-411

- Thomas NE, Baker JS, Davies B (2003) Established and recently identified coronary heart disease risk factors in young people: the influence of physical activity and physical fitness. *Sports Med* 33: 633-650
- Thompson OM, Ballew C, Resnicow K, Gillespie C, Must A, Bandini LG, Cyr H, Dietz WH (2006) Dietary pattern as a predictor of change in BMI z-score among girls. *Int J Obes ( 2005)* 30: 176-182
- Timperio A, Salmon J, Ball K (2004) Evidence-based strategies to promote physical activity among children, adolescents and young adults: review and update. *J Sci Med Sport* 7: 20-29
- Toschke AM, Grote V, Koletzko B, von Kries R (2004) Identifying children at high risk for overweight at school entry by weight gain during the first 2 years. *Arch Pediatr Adolesc Med* 158: 449-452
- Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boutcher SH (2008) The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes ( 2005)* 32: 684-691
- Tremblay A, Perusse L, Bouchard C (2004) Energy balance and body-weight stability: impact of gene-environment interactions. *Br J Nutr* 92 Suppl 1: S63-66
- Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C (1994) Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism: clinical and experimental* 43: 814-818
- Tresaco B, Moreno LA, Ruiz JR, Ortega FB, Bueno G, Gonzalez-Gross M, Warnberg J, Gutierrez A, Garcia-Fuentes M, Marcos A, Castillo MJ, Bueno M (2009) Truncal and abdominal fat as determinants of high triglycerides and low HDL-cholesterol in adolescents. *Obesity (Silver Spring)* 17: 1086-1091
- Trudeau F, Laurencelle L, Tremblay J, Rajic M, Shephard RJ (1999) Daily primary school physical education: effects on physical activity during adult life. *Med Sci Sports Exerc* 31: 111-117
- Twisk JW, Kemper HC, van Mechelen W (2002) The relationship between physical fitness and physical activity during adolescence and cardiovascular disease risk factors at adult age. The Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Int J Sports Med* 23 Suppl 1: S8-14
- U.S. Department of Health and Human Services (1996) *Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General*. US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Atlanta, GA
- Van Loan MD, Mayclin PL (1992) Body composition assessment: dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) compared to reference methods. *Eur J Clin Nutr* 46: 125-130
- Verstraete SJ, Cardon GM, De Clercq DL, De Bourdeaudhuij IM (2007) A comprehensive physical activity promotion programme at elementary school: the effects on physical activity, physical fitness and psychosocial correlates of physical activity. *Public Health Nutr* 10: 477-484

- Vicente-Rodriguez G (2006) How does exercise affect bone development during growth? *Sports Med* 36: 561-569
- Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone* 33: 853-859
- Victora CG, Barros F, Lima RC, Horta BL, Wells J (2003) Anthropometry and body composition of 18 year old men according to duration of breast feeding: birth cohort study from Brazil. *Bmj* 327: 901
- Wadsworth M, Marshall S, Hardy R, Paul A (1999) Breast feeding and obesity. Relation may be accounted for by social factors. *Bmj* 319: 1576
- Wahlen K, Sjolín E, Hoffstedt J (2008) The common rs9939609 gene variant of the fat mass- and obesity-associated gene FTO is related to fat cell lipolysis. *J Lipid Res* 49: 607-611
- Wallace SK, Mozaffarian D (2009) Trans-fatty acids and nonlipid risk factors. *Current atherosclerosis reports* 11: 423-433
- Wang G, Dietz WH (2002) Economic Burden of Obesity in Youths Aged 6 to 17 Years: 1979-1999. *Pediatr* 109: e81-
- Wang Y, Lobstein T (2006) Worldwide trends in childhood overweight and obesity. *Int J Pediatr Obes* 1: 11-25
- Warburton DE, Katzmarzyk PT, Rhodes RE, Shephard RJ (2007) [Evidence-based guidelines for physical activity of adult Canadians]. *Appl Physiol Nutr Metab* 32 Suppl 2F: S17-74
- Ward R, Ross WD, Leylan AJ, Selbe S (1989) *The advanced O-Scale physique assessment system* Kinemterix, Burnaby
- Wardle J, Brodersen NH, Boniface D (2007) School-based physical activity and changes in adiposity. *Int J Obes* 31: 1464-1468
- Washburn RA, Montoye HJ (1986) The assessment of physical activity by questionnaire. *Am J Epidemiol* 123: 563-576
- Weiss R (2007) Impaired glucose tolerance and risk factors for progression to type 2 diabetes in youth. *Pediatr diabet* 8 Suppl 9: 70-75
- Weiss R, Caprio S (2006) Altered glucose metabolism in obese youth. *Pediatr Endocrinol Rev* 3: 233-238
- Weiss R, Dziura J, Burgert TS, Tamborlane WV, Taksali SE, Yeckel CW, Allen K, Lopes M, Savoye M, Morrison J, Sherwin RS, Caprio S (2004) Obesity and the metabolic syndrome in children and adolescents. *N Engl J Med* 350: 2362-2374
- Weiss R, Taksali SE, Caprio S (2006) Development of type 2 diabetes in children and adolescents. *Current diabetes reports* 6: 182-187
- Welborn TA, Dhaliwal SS (2007) Preferred clinical measures of central obesity for predicting mortality. *Eur J Clin Nutr* 61: 1373-1379

- Welk G (2002) *Physical assessment in health-related research*. Human Kinetics, Leeds, UK
- Welsman JR, Armstrong N (1992) Daily physical activity and blood lactate indices of aerobic fitness in children. *Br J Sports Med* 26: 228-232
- Westerterp KR (2009) Assessment of physical activity: a critical appraisal. *Eur J Appl Physiol* 105: 823-828
- Whitaker RC, Wright JA, Pepe MS, Seidel KD, Dietz WH (1997) Predicting obesity in young adulthood from childhood and parental obesity. *N Engl J Med* 337: 869-873
- Winer JC, Zern TL, Taksali SE, Dziura J, Cali AM, Wollschlager M, Seyal AA, Weiss R, Burgert TS, Caprio S (2006) Adiponectin in childhood and adolescent obesity and its association with inflammatory markers and components of the metabolic syndrome. *J Clin Endocrinol Metab* 91: 4415-4423
- Wolin KY, Yan Y, Colditz GA, Lee IM (2009) Physical activity and colon cancer prevention: a meta-analysis. *Br J Cancer* 100: 611-616
- World Health Organization (2004a) *Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*. WHO, Geneva
- World Health Organization (2004b) *Health behaviour in school-aged children: a WHO cross-national Study (HBSC)* WHO-EU, Copenhagen
- Yin Z, Gutin B, Johnson MH, Hanes J, Jr., Moore JB, Cavnar M, Thornburg J, Moore D, Barbeau P (2005a) An environmental approach to obesity prevention in children: Medical College of Georgia FitKid Project year 1 results. *Obes Res* 13: 2153-2161
- Yin Z, Moore JB, Johnson MH, Barbeau P, Cavnar M, Thornburg J, Gutin B (2005b) The Medical College of Georgia Fitkid project: the relations between program attendance and changes in outcomes in year 1. *Int J Obes (2005)* 29 Suppl 2: S40-45
- Zeggini E, Weedon MN, Lindgren CM, Frayling TM, Elliott KS, Lango H, Timpson NJ, Perry JR, Rayner NW, Freathy RM, Barrett JC, Shields B, Morris AP, Ellard S, Groves CJ, Harries LW, Marchini JL, Owen KR, Knight B, Cardon LR, Walker M, Hitman GA, Morris AD, Doney AS, McCarthy MI, Hattersley AT (2007) Replication of genome-wide association signals in UK samples reveals risk loci for type 2 diabetes. *Science* 316: 1336-1341

**(9)**

---

**MANUSCRITO**

---

# Adiposity and Age Explain Most of the Association between Physical Activity and Fitness in Physically Active Men

José A. Serrano-Sánchez<sup>1</sup>, Safira Delgado-Guerra<sup>1</sup>, Hugo Olmedillas<sup>1</sup>, Amelia Guadalupe-Grau<sup>1</sup>, Rafael Arteaga-Ortiz<sup>2</sup>, Joaquín Sanchis-Moysi<sup>1</sup>, Cecilia Dorado<sup>1</sup>, José A. L. Calbet<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Education, University of Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, <sup>2</sup> Department of Physics, University of Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, Spain

## Abstract

**Background:** To determine if there is an association between physical activity assessed by the short version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and cardiorespiratory and muscular fitness.

**Methodology/Principal Findings:** One hundred and eighty-two young males (age range: 20–55 years) completed the short form of the IPAQ to assess physical activity. Body composition (dual-energy X-Ray absorptiometry), muscular fitness (static and dynamic muscle force and power, vertical jump height, running speed [30 m sprint], anaerobic capacity [300 m running test]) and cardiorespiratory fitness (estimated VO<sub>2</sub>max: 20 m shuttle run test) were also determined in all subjects. Activity-related energy expenditure of moderate and vigorous intensity (EEPA<sub>moderate</sub> and EEPA<sub>vigorous</sub>, respectively) was inversely associated with indices of adiposity ( $r = -0.21$  to  $-0.37$ ,  $P < 0.05$ ). Cardiorespiratory fitness (VO<sub>2</sub>max) was positively associated with LogEEPA<sub>moderate</sub> ( $r = 0.26$ ,  $P < 0.05$ ) and LogEEPA<sub>vigorous</sub> ( $r = 0.27$ ). However, no association between VO<sub>2</sub>max with LogEEPA<sub>moderate</sub>, LogEEPA<sub>vigorous</sub> and LogEEPA<sub>total</sub> was observed after adjusting for the percentage of body fat. Multiple stepwise regression analysis to predict VO<sub>2</sub>max from LogEEPA<sub>walking</sub>, LogEEPA<sub>moderate</sub>, LogEEPA<sub>vigorous</sub>, LogEEPA<sub>total</sub>, age and percentage of body fat (%fat) showed that the %fat alone explained 62% of the variance in VO<sub>2</sub>max and that the age added another 10%, while the other variables did not add predictive value to the model [VO<sub>2</sub>max = 129.6 – (25.1 × Log %fat) – (34.0 × Log age); SEE: 4.3 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>; R<sup>2</sup> = 0.72 ( $P < 0.05$ )]. No positive association between muscular fitness-related variables and physical activity was observed, even after adjusting for body fat or body fat and age.

**Conclusions/Significance:** Adiposity and age are the strongest predictors of VO<sub>2</sub>max in healthy men. The energy expended in moderate and vigorous physical activities is inversely associated with adiposity. Muscular fitness does not appear to be associated with physical activity as assessed by the IPAQ.

**Citation:** Serrano-Sánchez JA, Delgado-Guerra S, Olmedillas H, Guadalupe-Grau A, Arteaga-Ortiz R, et al. (2010) Adiposity and Age Explain Most of the Association between Physical Activity and Fitness in Physically Active Men. PLoS ONE 5(10): e13435. doi:10.1371/journal.pone.0013435

**Editor:** Alejandro Lucia, Universidad Europea de Madrid, Spain

**Received:** June 24, 2010; **Accepted:** September 9, 2010; **Published:** October 18, 2010

**Copyright:** © 2010 Serrano-Sánchez et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Funding:** The study was supported by Ministerio de Educación y Ciencia (DEP2006-56076-C06-04/ACTI) and FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional or European Regional Development Fund (ERDF)), Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias (2006/179 0001 and FEDER). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

**Competing Interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

\* E-mail: lopezcalbet@gmail.com

## Introduction

Assessment of physical activity (PA) during daily life is crucial to unravel how physical activities may influence present and future health. Several procedures have been used to assess PA which include behavioural observation, questionnaires in the form of diaries, recall questionnaires and interviews, and diverse techniques based on the assessment of motion (accelerometers), heart rate, and energy expenditure (calorimetry and doubly labelled water) [1]. Physical activity questionnaires are the most used, however, their reliability and validity is low [2–4]. The validity of most PA questionnaires have been established using techniques to assess the amount of daily energy expenditure such as doubly labeled water [5,6] and heart rate [7] but also by determining if there is an association between the rating in the questionnaires and

the expected effects of an active life style on fitness-related variables such as VO<sub>2</sub>max [8,9] and body composition [10] as indices of cardiorespiratory fitness, whilst other aspects of fitness like muscle strength and power (muscular fitness) have been largely ignored. An International Consensus Group, which met in Geneva in 1998, developed the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). This questionnaire has a good reliability index [11–14] and has been validated against direct measurements of PA by accelerometry [2,12–14] and doubly labelled water [4]. A greater level of PA should translate into better fitness indices [15,16], including muscle strength and power [17]. So far, no single study has determined which components of fitness are associated with the level of PA assessed with the short version of the IPAQ. This information is important to define what aspects of fitness appear to be influenced by daily PA as determined by general question-

naires, such as the IPAQ. Lack of association between component/s of fitness with PA assessed with the short version of the IPAQ could indicate that either these components are not influenced by physical activity or that the IPAQ is not sensitive enough to detect the influence of PA on some components of physical fitness.

Therefore, the main objective of the present investigation was to determine if there is an association between PA assessed by the short version of IPAQ cardiorespiratory and muscular fitness. Another aim was to determine if the potential associations between PA and fitness are explainable by differences in the level of adiposity. Since reduced PA is associated with accumulation of fat mass and fat mass has a negative influence in fitness tests, we hypothesised that adiposity could explain part or most of the associations observed between PA and fitness in healthy men.

## Materials and Methods

### Subjects

One hundred eighty-two Caucasians males aged  $31 \pm 7.2$  years (mean  $\pm$  SD; range: 20–55 years) from the island of Gran Canaria agreed to participate in the study. Their cardiorespiratory fitness was similar to that reported for the male population of the United States (estimated mean  $\dot{V}O_{2\max}$  of  $42 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , for a mean age of 33 years) according to the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999–2002 [18]. They were recruited between physically active university students, sports clubs and police officers in Gran Canaria (Spain). The health status of each participant was established by a medical history and physical examination. Subjects taking any kind of medications or having any chronic disease or hypertension were excluded. The study was approved by the ethical committee of the University of Las Palmas de Gran Canaria. All volunteers provided their written informed consent before participation in the study.

### Ethics Statement

The study was performed in accordance with the Helsinki Declaration of 1975, last modified in 2000, as regards the conduct of clinical research, being approved by the Ethical Committee of the University of Las Palmas de Gran Canaria. All volunteers provided their written consent before participation in the study.

### Data Collection

Each subject visited at least in two occasions our laboratory. During the first visit, the short version of the IPAQ was completed, and then a complete anthropometric and body composition assessment was performed. Thereafter, their maximal dynamical strength, jump performance, and 300 m running time were determined. The second visit was used to assess their maximal running speed and maximal aerobic power.

### Questionnaire: Scoring and Data Reduction

Overall PA was assessed using the short last seven days self-administered format of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) (Spanish version) [19]. The short version (4 items) provides information on the time spent walking, in vigorous- and moderate- intensity activity and in sedentary activity (time spent sitting per week). Note that the sitting question was developed as separate indicator and not as part of the summed PA score. The data collected were used to estimate total weekly PA by weighting the reported minutes per week within each activity category. Metabolic equivalent (MET) levels were obtained from the document “Guidelines for the data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire” available online

at <http://www.ipaq.ki.se>. The weighted MET-minutes per week ( $\text{MET}\cdot\text{min}\cdot\text{wk}^{-1}$ ) was calculated as duration  $\times$  frequency per week  $\times$  MET intensity, which were summed across activities to produce a weighted estimate of total PA from all reported activities per week ( $\text{MET}\cdot\text{min}\cdot\text{wk}^{-1}$ ). IPAQ defines three levels of PA: Low, Moderate or High. The IPAQ Research committee propose two criteria for classification as high: a) vigorous-intensity activity on at least 3 days achieving a minimum total PA of at least 1500 MET-minutes/week or b) 7 or more days of any combination of walking, moderate-intensity, or vigorous-intensity activities achieving a minimum total PA of at least 3000 MET-minutes/week. Moderate category is defined as doing some activity, more than the low category. The pattern of activity to be classified as moderate is either of the following criteria: a) 3 or more days of vigorous-intensity activity of at least 20 minutes per day or b) 5 or more days of moderate-intensity activity and/or walking of at least 30 minutes per day or c) 5 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum total PA of at least 600 MET-minutes/week ([www.ipaq.ki.se](http://www.ipaq.ki.se)). The low PA category includes the subjects not achieving the minimum for the moderate PA category.

### Physical Fitness

**Anaerobic capacity.** A three hundred meter running test was used to estimate the anaerobic capacity [20], because the anaerobic capacity is the first determinant of performance in maximal all-out efforts eliciting exhaustion between 30 and 60 seconds [21]. The test was performed on a 400 m track, and timings were measured manually. Subjects were asked to run the 300 m as fast as possible. The intraclass correlation coefficient alpha (Cronbach) was 0.94 in 20 physical education students who repeated the test two times in different days.

**Running speed test.** The time needed to cover 30 meters ( $T_{30}$ ) was measured with photoelectric cells (General ASDE, Valencia). The timer was automatically activated when the subject crossed the first cell, and every 5 meters thereafter. Subjects were motivated to run as fast as they could, and the best performance achieved in three trials, separated by at least 1 min rest period, was taken as the representative value of this test. The intraclass correlation coefficient alpha (Cronbach) for the running times at 5, 10, 15, 20, 25 and 30 m were: 0.91, 0.97, 0.98, 0.99, 0.99 and 0.99, as determined previously in 14 physical education students who repeated the test three times [22].

**Aerobic maximal power.** The maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) was estimated using a maximal multistage 20-m shuttle run test [23]. Subjects were asked to run back and forth on a 20 m course and be on the 20 m line coinciding with beeps emitted from a tape. The frequency of the sound signals increased in such a way that running speed started at  $8.5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$  and was increased by  $0.5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$  every minute. The length of time the subjects were able to run for was recorded to calculate the  $\dot{V}O_{2\max}$ , using the equation  $\dot{V}O_{2\max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$  from the speed ( $S$ ,  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) corresponding to the final stage ( $\dot{V}O_{2\max} = 31.025 + 6.003S - 58.464$ ) [23]. The maximal multistage 20-m shuttle run test has been shown to be valid and reliable for the estimation of the  $\dot{V}O_{2\max}$  with a reliability coefficient of 0.95 [23].

**Isometric force and squat and counter movement jumps.** The force generated during maximal isometric force (MIF), and the height of jumping during vertical Squat Jumps (SJ) and Counter Movement Jumps (CMJ), were measured with a force plate (Kistler 2822A1-1, Winterthur, Switzerland) and sampled at 500 Hz. The MIF starts in the squat position with the knees bent at  $90^\circ$ . SJ and CMJ jumps were chosen to assess muscle power due

to their high reliability [24]. The SJ starts from the squat position with the knees bent at 90°. The CMJ starts from a standing position allowing for counter movement, with the intention of reaching knee bending angles of around 90° prior to impulsion. The best of three attempts in force and jump tests were selected for further analysis. The jumping heights (H<sub>j</sub>) generated were determined by integration of the vertical ground reaction forces in the best of three trials in both kinds of jumps, SJ and CMJ [25]. During the push-off phase, the vertical velocity of the centre of masses was determined by integration over time of the acceleration, which, in turn, was calculated from the ground reaction force signal. Instantaneous jump power was continuously calculated as the product of vertical ground reaction force and center of mass velocity [26]. The intraclass correlation coefficients alpha (Cronbach) for the MIF and the height jumped during the vertical jumps were all above 0.98, when measured three times in 10 physical education students.

**Body Composition**

**Percentage of trunk and whole body fat.** The percentage trunk and whole body fat were measured using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) (QDR-1500, Hologic Corp., Software version 7.10, Waltham, MA) as described elsewhere [27,28]. The DXA scanner was calibrated using a lumbar spine phantom. Subjects were scanned in supine position and the scans were performed in high resolution. Fat mass (%) were calculated from total and regional analysis of the whole body scan [27].

**Anthropometric measurements.** Height, weight, Body Mass Index (BMI), thorax, waist, and hip circumferences were measured by the Advanced O-Scale Physique Assessment System. Waist to Hip ratio was calculated using the formula  $W-H = \text{waist} / \text{hip}$  (cm).

**Statistical Analysis**

Mean and standard deviation (SD) are given as descriptive statistics. All variables were checked for normal distribution by the Shapiro-Wilks test. Due to non-normal distribution, age, waist circumference, hip circumference, 30 and 300 m running times, EEPA<sub>walking</sub>, EEPA<sub>moderate</sub>, EEPA<sub>vigorous</sub> and EEPA<sub>total</sub> and the percentage of whole body and trunk fat mass were logarithmically transformed. The association between the estimated energy

expenditure EEPA<sub>walking</sub>, EEPA<sub>moderate</sub>, EEPA<sub>vigorous</sub> and EEPA<sub>total</sub> with body composition and fitness variables was determined with the Pearson's correlation test. Differences in body composition and fitness variables between the three IPAQ (low, moderate and high) PA categories were tested with analysis of variance with the Bonferroni post hoc test. In addition, ANCOVA with age and the percentage of body fat as covariables was also carried out to determine if differences in fitness variables between the three IPAQ physical activity categories could be explained by the influence of these two potential confounders. Stepwise multiple regression analysis was used to determine which fitness and body composition variables had greater predictive value for VO<sub>2</sub>max. Significant differences were assumed when  $p < 0.05$ . The statistical power for correlation analyses was above 0.8 (for  $r \geq 0.20$ ) in all analyses, except for the EEPA<sub>vigorous</sub>. The statistical power for correlation analyses involving the EEPA<sub>vigorous</sub> group was  $> 0.8$  only for  $r > 0.32$ . Data were analyzed with SPSS version 15.0.

**Results**

**Anthropometrical Variables and Body Composition**

Pearson's correlation coefficients between physical and anthropometric characteristics and estimated energy expenditure by IPAQ are shown in Table 1. There was an inverse association between indicators of adiposity (BMI, waist and hip circumferences, waist-to-hip ratio, and percentage of fat in the trunk and whole body) and LogEEPA<sub>moderate</sub>. Similar associations were observed between the waist-to-hip ratio, and the percentage of fat in the trunk and whole body and LogEEPA<sub>vigorous</sub>. The strength of these associations was not modified when the energy expended in moderate and vigorous physical activities was added. No association between LogEEPA<sub>total</sub> and anthropometrical and body composition variables was observed. The percentage of fat mass in trunk and whole body was positively associated with LogEEPA<sub>walking</sub>.

**Cardiorespiratory Fitness**

Pearson's correlation coefficients between physical fitness variables and estimated energy expenditure by IPAQ are shown in Table 2. Cardiorespiratory fitness was positively associated with LogEEPA<sub>moderate</sub> ( $r = 0.26, P < 0.05$ ) and LogEEPA<sub>vigorous</sub>

**Table 1.** Pearson's correlation coefficient matrix between anthropometric characteristics, body composition and estimated METs expended per week derived from the IPAQ by activity type or intensity.

Variables	EEPA <sub>walking</sub> <sup>h</sup>	EEPA <sub>Moderate</sub> <sup>h</sup>	EEPA <sub>Vigorous</sub> <sup>h</sup>	EEPA <sub>Total</sub> <sup>h</sup>
Number of subjects	147	146	73	176
Age (year) <sup>h</sup>	0.39 <sup>a</sup>	-0.11	0.01	0.23 <sup>a</sup>
Weight (kg)	0.15	-0.16	-0.06	0.03
BMI (weight(kg)/height(m <sup>2</sup> ))	0.13	-0.23 <sup>a</sup>	-0.16	-0.05
Thorax circumference (cm)	0.10	-0.15	0.10	0.02
Waist circumference (cm) <sup>h</sup>	0.21 <sup>a</sup>	-0.27 <sup>a</sup>	-0.22	-0.07
Hip circumference (cm) <sup>h</sup>	0.06	-0.21 <sup>a</sup>	-0.12	-0.08
Waist to Hip ratio	0.28 <sup>a</sup>	-0.21 <sup>a</sup>	-0.26 <sup>a</sup>	-0.03
TF (%) <sup>h</sup>	0.28 <sup>a</sup>	-0.29 <sup>a</sup>	-0.29 <sup>a</sup>	-0.09
BF (%) <sup>h</sup>	0.26 <sup>a</sup>	-0.28 <sup>a</sup>	-0.37 <sup>a</sup>	-0.06

BMI, body mass index; TF (%), percentage of trunk fat; BF (%), percentage of body fat.

<sup>a</sup> $p \leq 0.05$ ;

<sup>h</sup>Logarithmic transformation; EEPA, energy expenditure in each physical activity type (MET·min·wk<sup>-1</sup>).

doi:10.1371/journal.pone.00113435.t001



**Table 2.** Pearson's correlation coefficient matrix between physical fitness variables and estimated METs expended per week derived from the IPAQ by activity type or intensity.

Variables	EEPA <sub>walking</sub> <sup>h</sup>	EEPA <sub>Moderate</sub> <sup>h</sup>	EEPA <sub>Vigorous</sub> <sup>h</sup>	EEPA <sub>Total</sub> <sup>h</sup>
<b>Unadjusted</b>				
MIF (KgF)	-0.12	-0.01	0.05	-0.09
HSJ (m)	-0.08	0.10	0.12	0.03
HCMJ (m)	-0.15	0.08	0.02	-0.09
V <sub>30</sub> (s) <sup>h</sup>	0.22 <sup>a</sup>	-0.04	0.11	0.13
V <sub>300</sub> (s) <sup>h</sup>	0.19 <sup>a</sup>	-0.15	-0.18	-0.05
VO <sub>2</sub> max (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	-0.31 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.07
<b>Age adjusted</b>				
MIF (KgF)	-0.26	0.15	0.04	-0.06
HSJ (m)	0.06	0.15	0.17	0.14
HCMJ (m)	0.13	-0.06	0.00	-0.03
V <sub>30</sub> (s) <sup>h</sup>	-0.09	0.11	0.16	-0.01
V <sub>300</sub> (s) <sup>h</sup>	0.16	-0.12	-0.24	-0.24 <sup>a</sup>
VO <sub>2</sub> max (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	-0.25	0.22	0.31 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>
<b>% Fat adjusted</b>				
MIF (KgF)	-0.24	0.18	0.08	-0.09
HSJ (m)	-0.03	0.15	0.05	-0.01
HCMJ (m)	-0.07	0.02	-0.12	-0.13
V <sub>30</sub> (s) <sup>h</sup>	0.19	-0.05	0.26	0.19 <sup>a</sup>
V <sub>300</sub> (s) <sup>h</sup>	0.24	-0.03	0.01	0.00
VO <sub>2</sub> max (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	-0.40 <sup>a</sup>	0.07	-0.14	-0.00
<b>Age plus % Fat adjusted</b>				
MIF (KgF)	-0.27	0.18	0.08	-0.05
HSJ (m)	0.08	0.11	0.12	0.08
HCMJ (m)	0.13	-0.07	-0.01	-0.01
V <sub>30</sub> (s) <sup>h</sup>	-0.08	0.07	0.13	0.05
V <sub>300</sub> (s) <sup>h</sup>	0.12	0.03	-0.08	-0.15 <sup>a</sup>
VO <sub>2</sub> max (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	-0.24	-0.04	0.01	-0.14

MIF, maximal isometric force; HSJ, height in squat jump; HCMJ, height in counter movement jump; V<sub>30</sub>, velocity in 30 m running speed test; V<sub>300</sub>, velocity in 300 m running test; VO<sub>2</sub>max, maximum oxygen uptake.

<sup>a</sup>p≤0.05;

<sup>h</sup>Logarithmic transformation; EEPA, energy expenditure in each physical activity type (MET·min·wk<sup>-1</sup>).

doi:10.1371/journal.pone.0013435.t002

(r = 0.27, P<0.05). This association was maintained with EEPA vigorous after adjusting for age (r = -0.24, P<0.05). However, no association between VO<sub>2</sub>max and LogEEPA<sub>moderate</sub> and vigorous was observed after adjusting for the percentage of body fat. There was a negative association between VO<sub>2</sub>max and LogEEPA<sub>walking</sub> (r = -0.31, P<0.05), even after adjusting for the percentage of body fat (r = -0.40, p<0.05).

Maximal oxygen uptake (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) could be predicted from EEPA<sub>walking</sub> and EEPA<sub>vigorous</sub> as shown by stepwise multiple regression analysis (VO<sub>2</sub>max = 51.5 - (0.79 × LogEEPA<sub>walking</sub>) + (6.5 × LogEEPA<sub>vigorous</sub>, R<sup>2</sup> = 0.34, P<0.01), whilst EEPA<sub>moderate</sub> was excluded from the regression model. However, there was also a strong inverse association between VO<sub>2</sub>max and the logarithm of the percentage of body fat (r = -0.73, P<0.05) (Fig. 1), which was reduced to r = -0.63 (P<0.05) after adjusting for the logarithm of age, or for both the logarithm of age and the log of (EEPA<sub>moderate</sub> + EEPA<sub>vigorous</sub>) (r = -0.63, P<0.05). Thus, relative VO<sub>2</sub>max (ml.kg of body mass<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) is associated more strongly to the percentage of body fat than to weekly energy expended in moderate and vigorous

physical activities in physically active men. Stepwise multiple regression analysis to predict VO<sub>2</sub>max from LogEEPA<sub>walking</sub>, LogEEPA<sub>moderate</sub>, LogEEPA<sub>vigorous</sub>, LogEEPA<sub>total</sub>, age and percentage of body fat (%fat), indicated that the %fat explained 62% of the variance in VO<sub>2</sub>max and the age another 10%, while the other variables did not improve the predictive value of the model.

$$VO_2max = 129.6 - (25.1 \times \log\%fat) - (34.0 \times \logage);$$

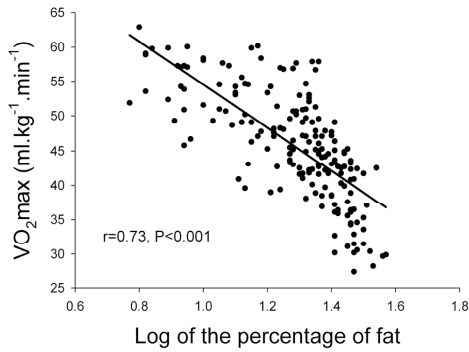
R<sup>2</sup> = 0.72 (P<0.05).

SEE (standard error of estimate): 4.3 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>.

Only LogEEPA<sub>vigorous</sub> was significantly associated to the percentage of body fat after adjusting for VO<sub>2</sub>max (r = -0.26, P<0.05).

### Muscular Fitness

No positive association between muscular fitness-related variables (maximal isometric force, vertical jump performance,



**Figure 1. Relationship between VO<sub>2</sub>max and the logarithm of the percentage of body fat (unadjusted values).**  
doi:10.1371/journal.pone.0013435.g001

30 m and 300 m running speed) and PA was observed, even after adjusting for body fat (Table 2). Only the 300 m running speed was associated with EEPA<sub>total</sub> after adjusting for body fat and age ( $r=0.15$ ,  $P<0.05$ ). The percentage of body fat was negatively associated to LogEEPA<sub>moderate</sub> ( $r=-0.24$ ,  $p<0.01$ ). LogEEPA<sub>vigorous</sub> was significantly associated to the percentage of body fat after adjusting for the 300 m running performance ( $r=-0.33$ ,  $p<0.01$ ).

**Differences in Physical Fitness Between the Three IPAQ Physical Activity Categories**

From the IPAQ outcomes, 43 subjects were classified into the Low (age =  $30 \pm 7.5$  yr; mean  $\pm$  SD), 91 into the Moderate (age =  $30 \pm 7.2$  yr; mean  $\pm$  SD), and 48 into the High (age =  $33 \pm 6.0$  yr; mean  $\pm$  SD) PA levels. The subject's age, anthropometric, physical fitness and body composition data by PA category are summarized in Table 3. The moderately physically active group had higher VO<sub>2</sub>max than the low physically active group and run the 30 m test faster than the highly active group. Waist and Hip circumferences, as well as the percentage of whole body and trunk fat mass were greater in the low compared to the moderately active group. No differences between the three PA categories were observed in weight, BMI, waist to hip ratio, maximal isometric force, jumping height in squat and counter movement jump, and 300 m running times. However, the subjects from the high PA category were three years older than the subjects from the low and moderate PA category. Adjusting for age as covariate did not change the results with the exception of age-adjusted VO<sub>2</sub>max, age-adjusted percentage of body fat and age-adjusted percentage of trunk fat mass, which were significantly lower in the low compared to both the moderate and high PA groups.

When adjusted only for the percentage of body fat, running times in 30 m were lower in the low than in the high PA group. However, after adjusting for both age and percentage of body fat no between-groups differences were observed in 30 m running times. Adjusting for age or the percentage of body fat or both (age and percentage of body fat) did not change the results regarding maximal isometric force and jumping height.

**Table 3. Subjects' physical characteristics and indicators of physical fitness by IPAQ classified physical activity categories (mean  $\pm$  SD).**

Variables	Low		Moderate		High		N			
Age (year)	30.34 <sup>a</sup>	$\pm$	7.53	30.25 <sup>a</sup>	$\pm$	7.22	33.62	$\pm$	6.04	43-91-48
Weight (kg)	83.02	$\pm$	10.58	78.68	$\pm$	10.17	80.57	$\pm$	9.97	43-91-48
Height (cm)	177.2	$\pm$	0.8	176.4	$\pm$	0.6	177.5	$\pm$	0.8	43-91-48
BMI (weight(kg)/height(m <sup>2</sup> ))	26.46	$\pm$	3.41	25.31	$\pm$	3.33	25.55	$\pm$	2.69	43-91-48
Thorax circumference (cm)	101.94	$\pm$	8.89	98.87	$\pm$	7.44	101.77	$\pm$	6.64	43-91-48
Waist circumference (cm)	92.33 <sup>b</sup>	$\pm$	8.65	87.75	$\pm$	9.06	89.32	$\pm$	7.84	43-91-48
Hip circumference (cm)	101.01 <sup>b</sup>	$\pm$	8.22	97.86	$\pm$	5.76	97.91	$\pm$	5.48	43-91-48
Waist to Hip ratio (cm)	0.91	$\pm$	0.06	0.90	$\pm$	0.05	0.91	$\pm$	0.05	43-91-48
MIF (Kgf)	112.11	$\pm$	16.49	104.13	$\pm$	24.39	103.98	$\pm$	20.79	43-91-48
HSJ (m)	0.28	$\pm$	0.05	0.29	$\pm$	0.05	0.28	$\pm$	0.06	43-91-48
HCMJ (m)	0.32	$\pm$	0.06	0.33	$\pm$	0.06	0.31	$\pm$	0.07	43-91-48
V <sub>30</sub> (seg)	4.56	$\pm$	0.28	4.53 <sup>a</sup>	$\pm$	0.29	4.66	$\pm$	0.36	43-91-48
V <sub>300</sub> (seg)	51.68	$\pm$	7.04	50.04	$\pm$	6.68	51.74	$\pm$	10.07	43-91-48
VO <sub>2</sub> max (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	43.17 <sup>b</sup>	$\pm$	7.68	47.43	$\pm$	8.00	45.58	$\pm$	7.45	43-91-48
TF (%)	23.44 <sup>b</sup>	$\pm$	9.12	18.46	$\pm$	9.41	20.73	$\pm$	9.50	43-91-48
BF (%)	23.11 <sup>b</sup>	$\pm$	6.90	19.30	$\pm$	7.09	20.36	$\pm$	7.41	43-91-48

BMI, body mass index; MIF, maximal isometric force; HSJ, height in squat jump; HCMJ, high in counter movement jump; V<sub>30</sub>, velocity in 30 m running speed test; V<sub>300</sub>, velocity in 300 m running test; VO<sub>2</sub>max, maximum oxygen uptake; TF (%), percentage of trunk fat; BF (%), percentage of body fat.

<sup>a</sup> $p \leq 0.05$  compared to High;

<sup>b</sup> $p \leq 0.05$  compared to Moderate.

doi:10.1371/journal.pone.0013435.t003

## Discussion

There are three main findings in this study. First, the energy expended in moderate and vigorous physical activities as estimated by the IPAQ is inversely associated with adiposity in physically active men. Second, that adiposity explains most of the association between PA and fitness in physically active men. And third, that there is no association between muscular fitness-related variables and energy expenditure in any of the three categories distinguished by the short version of the IPAQ.

In partial agreement with our results, Papathanasiou et al. [29] reported significant correlations between the total and vigorous physical activities (Greek version of IPAQ-short) and maximal treadmill time (assessed with Bruce's treadmill test) (0.35 to 0.43) in young health-science students (20–29 years old). Moderate and low physical activities correlations were poor and non-significant [29]. Also in young adults, essentially similar results were reported by Kurtze et al [13]. However, it has been also reported lack of correlation between the percentage of body fat and IPAQ variables from the long [30] and short versions of the IPAQ [31].

Our study concurs with the recent article by Nokes [32] who observed that the percentage of body fat accounted for 47% of the variability in cardiorespiratory fitness in 247 non-obese women (BMI < 30; mean age of 40 ± 3 years [±SD]), in which cardiorespiratory fitness was assessed by measuring  $\text{VO}_2\text{max}$  with an incremental exercise test to exhaustion and the percentage of body fat with air-displacement plethysmography. In this study daily PA was measured by accelerometry during 7 days. These authors observed that the strength of association between PA and cardiorespiratory fitness was reduced from  $r^2 = 0.11$  to  $r^2 = 0.056$ , when adjusted for the percentage of body fat. In the present investigation, similar results have been obtained with a population composed only by physically active men with a wide range of PA and fitness levels.

Our study also agrees with the work of Nokes [32] in highlighting the importance that the intensity of the exercise has for association between cardiorespiratory fitness and PA. In fact, in our study only the weekly energy expenditure (as estimated by the IPAQ) in moderate and vigorous physical activities was positively associated with  $\text{VO}_2\text{max}$ . After adjustment for  $\text{VO}_2\text{max}$  only the energy expenditure in vigorous PA was associated to a lower percentage of body fat. Some interventional studies have shown that high intensity intermittent exercise can be even more effective than that steady state exercise in eliciting a reduction of fat mass, both types of exercise requiring a similar energy expenditure [33] or even with lower energy expenditure in the high intensity intermittent exercise [34]. This intensity-effect may be related to greater energy deficit incurred with high intensity exercise programs. It seems that the exercise-related increase in caloric intake does not compensate for the increased energy expenditure of the high intensity exercise programs due to changes in appetite [35,36].

We expected highly active subjects to achieve higher levels of performance in tests measuring diverse aspects of physical fitness including muscular strength and power, endurance (aerobic power, i.e.  $\text{VO}_2\text{max}$ ), anaerobic capacity and sprinting capacity (running speed in 30 m). In addition, we also presumed that the most active subjects according to IPAQ would also have a lower percentage of body fat, and vice versa. In agreement, the level of performance achieved in  $\text{VO}_2\text{max}$  (cardiorespiratory fitness) by the distinct IPAQ categories was significantly different, with the subjects assigned to the low PA levels by IPAQ showing the lowest mean values of cardiorespiratory fitness. However, the mean difference in  $\text{VO}_2\text{max}$  between the IPAQ physical activity

categories were rather small and after accounting for the percentage of body fat as covariable no differences in cardiorespiratory and muscular fitness were observed between the three IPAQ physical activity categories. This could indicate that one important mechanism by which PA contributes to improve cardiorespiratory fitness is by reducing fat mass. This interpretation is further supported by the regression analysis showing that both the percentage of body fat and age were able to explain 72% of the variance in  $\text{VO}_2\text{max}$  in our population, whilst PA did not contribute any additional predictive value. The confounding effect that adiposity may have on physical fitness is further emphasized by some studies showing that obese subjects compared to non-obese controls have reduced  $\text{VO}_2\text{max}$  when expressed per kg of body mass but similar  $\text{VO}_2\text{max}$  when expressed per kg of lean mass [37]. Likewise, adiposity explains great part of the difference in physical fitness between physically active and sedentary children [38].

Although good correspondence between the time expended in moderate activities and accelerometry measurements have been reported for the short IPAQ [14], we have observed in several instances that the subjects classified by IPAQ into the moderate PA category performed better in the physical fitness tests than the subjects classified by IPAQ into the highly active category. Similar problems have been reported using the long form of IPAQ to assess PA in patients with chronic fatigue syndrome [39] and with short form of the IPAQ in healthy Swedish adults [40]. This may be due to the intrinsic difficulty that entails the assessment of PA by questionnaire [3]. Several studies report that the IPAQ significantly overestimated self-reported time spent in physical activities [40–42] while inactivity is highly underreported [14]. This is likely due to the fact that it is difficult to obtain a good assessment of low and moderate PA using self-administered questionnaires [10], because these activities are being accumulated throughout the day and the number and diversity of these activities is enormous, resulting in a poor recall. In fact, it has been shown that activity-related energy expenditure measured with the long versions of the IPAQ underestimates the actual energy expenditure measured with doubly labelled water by 27% [4]. This error is lower in subjects with low levels of PA, but greater in those with high levels of PA [4].

As a novelty, this study reports no statistically significant differences in the 30 m running test between the IPAQ PA categories were observed after adjusting for differences in both the percentage of whole body fat and age. Another novel finding is that the 300 m running speed was associated with  $\text{EEPA}_{\text{total}}$  after adjusting for body fat and age. No between-categories significant differences were observed in the rest of the muscular fitness-related variables (maximal isometric force and jumping height) even after accounting for age, percentage of body fat or both (age and percentage of body fat) as covariates. The latter highlights the difficulty that entails the assessment of high intensity physical activities with physical activity questionnaires.

There was a negative association between  $\text{VO}_2\text{max}$  and  $\text{LogEEPA}_{\text{walking}}$  even after adjusting for the percentage of body fat. Walking exercise alone is unlikely to enhance  $\text{VO}_2\text{max}$  [43–45] but walking should not have negative effects on  $\text{VO}_2\text{max}$ . Thus the negative association in this study could indicate that subjects with low cardiorespiratory fitness chose to walk rather than to engage in moderate or vigorous intensity PA.

This study has several limitations. First, the population studied is not representative of the Spanish population implying that our results have limited generalizability. Second, fitness variables and PA were measured with methods having different levels of reliability and validity.  $\text{VO}_2\text{max}$  was estimated and not directly

measured. For this purpose we used an incremental test to exhaustion which have been shown to be valid and reliable to estimate  $\text{VO}_{2\text{max}}$  [23,46]. Body composition was also measured with a method (dual-energy x-ray absorptiometry) of high validity and reliability (see [47] for references). On the other hand, PA was assessed by questionnaire a procedure with lower reliability and validity than the procedures applied to determine body composition and fitness, limiting the capacity to find associations between PA and fitness variables. Despite these limitations, the percentage of body fat and age explained 72% of variance in  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , leaving only 28% to be explained by other factors such as PA. PA measured with accelerometry (daily step counts) has been reported to be associated to  $\text{VO}_{2\text{max}}$  in Japanese women after adjustment for age ( $r = 0.55$  for,  $n = 48$ ) [48]. This result can be compared with the association observed in the present investigation between  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and the daily energy expenditure as assessed by the IPAQ ( $r = 0.25$ , age adjusted). However, Cao et al. did not analyze the influence of adiposity in the association between  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and accelerometry-measured PA [48] and their population was more uniform in terms of BMI than our subjects.

## References

- Westertep KR (2009) Assessment of physical activity: a critical appraisal. *Eur J Appl Physiol* 105: 823–828.
- Boon RM, Hamlin MJ, Steel GD, Ross JJ (2010) Validation of the New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ-LF) and the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-LF) with Accelerometry. *Br J Sports Med*: In press.
- Shephard RJ (2003) Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires. *Br J Sports Med* 37: 197–206; discussion 206.
- Maddison R, Ni Mhurchu C, Jiang Y, Vander Hooft S, Rodgers A, et al. (2007) International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ): A doubly labelled water validation. *Int J Behav Nutr Phys Act* 4: 62.
- Philippaerts RM, Westertep KR, Lefevre J (1999) Doubly labelled water validation of three physical activity questionnaires. *Int J Sports Med* 20: 284–289.
- Bratteby LE, Sandhaugen B, Fan H, Samuelson G (1997) A 7-day activity diary for assessment of daily energy expenditure validated by the doubly labelled water method in adolescents. *Eur J Clin Nutr* 51: 585–591.
- Elosa R, Marrugat J, Molina L, Pons S, Pujol E (1994) Validation of the Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire in Spanish men. The MARATHON Investigators. *Am J Epidemiol* 139: 1197–1209.
- Bonnefoy M, Koska T, Berthouze SE, Lacour JR (1996) Validation of a physical activity questionnaire in the elderly. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 74: 528–533.
- Roeykens J, Rogers R, Meusem R, Magnus L, Borms J, et al. (1998) Validity and reliability in a Flemish population of the WHO-MONICA Optional Study of Physical Activity Questionnaire. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1071–1075.
- Washburn RA, Montoye HJ (1986) The assessment of physical activity by questionnaire. *Am J Epidemiol* 123: 563–576.
- Papathanasiou G, Georgoudis G, Papandreou M, Spyropoulos P, Georgakopoulos D, et al. (2009) Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic Journal of Cardiology* 50: 283–294.
- Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, et al. (2003) International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1381–1395.
- Kurtze N, Rangul V, Hustedvedt BE, Flanders WD (2008) Reliability and validity of self-reported physical activity in the Nord-Trøndelag Health Study: HUNT 1. *Scand J Public Health* 36: 52–61.
- Mader U, Martin BW, Schutz Y, Marti B (2006) Validity of four short physical activity questionnaires in middle-aged persons. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1255–1266.
- Saltin B, Rowell LB (1980) Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Fed Proc* 39: 1506–1513.
- Stafan JR, DiPietro L, Davis D, Kohl HW, 3rd, Blair SN (1998) Physical activity patterns associated with cardiorespiratory fitness and reduced mortality: the Aerobics Center Longitudinal Study. *Am J Public Health* 88: 1807–1813.
- Paalanne NP, Korpelainen RI, Taimela SP, Auvinen JP, Tammelin TH, et al. (2009) Muscular fitness in relation to physical activity and television viewing among young adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 1997–2002.
- Duncan GE (2010) The "fit but fat" concept revisited: population-based estimates using NHANES. *Int J Behav Nutr Phys Act* 7: 47.
- Blanca R, Serra-Majem L, Hagströmer M, Ramon JM, Ribas L, et al. (2006) International Physical Activity Questionnaire: Reliability and validity in Spain. *Med Sci Sports Exerc* 38: S563.
- Vicente-Rodriguez G, Jiménez-Ramírez J, Ara I, Serrano-Sánchez JA, Dorado C, et al. (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone* 33: 853–859.
- Calbet JA, Chavarren J, Dorado C (1997) Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *Eur J Appl Physiol* 76: 308–313.
- Perez-Gomez J, Olmedillas H, Delgado-Guerra S, Royo IA, Vicente-Rodriguez G, et al. (2008) Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 501–510.
- Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J (1988) The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 6: 93–101.
- Arteaga R, Dorado C, Chavarren J, Calbet JA (2000) Reliability of jumping performance in active men and women under different stretch loading conditions. *J Sports Med Phys Fitness* 40: 26–34.
- Bojsen-Moller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard P (2005) Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* 99: 986–994.
- Caserotti P, Aagaard P, Larsen JB, Puggaard L (2008) Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports* 18: 773–782.
- Sanctis-Moysi J, Idoate F, Olmedillas H, Guadalupe-Ara A, Alayón S, et al. (2009) The upper extremity of the professional tennis player: muscle volumes, inter-arm asymmetry and muscle fiber type distribution. *Scand J Med Sci Sports* 20: 524–534.
- Fuentes T, Ara I, Guadalupe-Grau A, Larsen S, Stallknecht B, et al. (2010) Leptin receptor 170 kDa (OB-R170) protein expression is reduced in obese human skeletal muscle: a potential mechanism of leptin resistance. *Exp Physiol* 95: 160–171.
- Papathanasiou G, Georgoudis G, Georgakopoulos D, Katsouras C, Kalfakakou V, et al. (2009) Criterion-related validity of the short International Physical Activity Questionnaire against exercise capacity in young adults. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*.
- Hagströmer M, Oja P, Sjostrom M (2006) The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity. *Public Health Nutr* 9: 755–762.
- Kaleth AS, Ang DC, Chakr R, Tong Y (2010) Validity and reliability of community health activities model program for seniors and short-form international physical activity questionnaire as physical activity assessment tools in patients with fibromyalgia. *Disabil Rehabil* 32: 353–359.
- Nokes N (2009) Relationship between physical activity and aerobic fitness. *J Sports Med Phys Fitness* 49: 136–141.
- Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boucher SH (2008) The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes (Lond)* 32: 684–691.
- Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C (1994) Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism* 43: 814–818.
- Bi S, Scott KA, Hyun J, Ladenheim EE, Moran TH (2005) Running wheel activity prevents hyperphagia and obesity in Otsuka long-evans Tokushima Fatty rats: role of hypothalamic signaling. *Endocrinology* 146: 1676–1685.

## Conclusions

Adiposity and age are the strongest predictors for  $\text{VO}_{2\text{max}}$  in physically active healthy men. Adiposity explains most of the associations between physical activity and fitness in this population. Our results also indicate that the IPAQ physical activity categories correspond relatively well with the level of cardiorespiratory fitness. Muscular fitness does not appear to be associated with physical activity as assessed by the IPAQ.

## Acknowledgments

The authors thank José Navarro de Tuero for his excellent technical assistance.

## Author Contributions

Conceived and designed the experiments: JASS SDG HO AGG RAO JSM CD JALC. Performed the experiments: JASS SDG HO AGG JSM CD JALC. Analyzed the data: JASS SDG HO AGG RAO JSM CD JALC. Contributed reagents/materials/analysis tools: JASS SDG HO AGG RAO JSM CD JALC. Wrote the paper: JASS SDG HO AGG RAO JSM CD JALC.

36. Kawaguchi M, Scott KA, Moran TH, Bi S (2005) Dorsomedial hypothalamic corticotropin-releasing factor mediation of exercise-induced anorexia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 288: R1800–1805.
37. Ara I, Larsen S, Stallknecht B, Guerra B, Morales-Alamo D, et al. (2010) Normal mitochondrial function and increased fat oxidation capacity in leg and arm muscles in obese humans. *Int J Obes (Lond)*.
38. Ara I, Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J, Dorado C, Serrano-Sanchez JA, et al. (2004) Regular participation in sports is associated with enhanced physical fitness and lower fat mass in prepubertal boys. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 1585–1593.
39. Scheeres K, Knoop H, Meer J, Bleijenberg G (2009) Clinical assessment of the physical activity pattern of chronic fatigue syndrome patients: a validation of three methods. *Health Qual Life Outcomes* 7: 29.
40. Ekkelund U, Sepp H, Brage S, Becker W, Jakes R, et al. (2006) Criterion-related validity of the last 7-day, short form of the International Physical Activity Questionnaire in Swedish adults. *Public Health Nutr* 9: 258–265.
41. Rzesnicki R, Vanden Auweele Y, De Bourdeaudhuij I (2003) Addressing overreporting on the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) telephone survey with a population sample. *Public Health Nutr* 6: 299–305.
42. Johnson-Kozlow M, Sallis JF, Gilpin EA, Rock CL, Pierce JP (2006) Comparative validation of the IPAQ and the 7-Day PAR among women diagnosed with breast cancer. *Int J Behav Nutr Phys Act* 3: 7.
43. Hagner W, Hagner-Derengowska M, Wiacek M, Zubrzycki IZ (2009) Changes in level of VO<sub>2</sub>max, blood lipids, and waist circumference in the response to moderate endurance training as a function of ovarian aging. *Menopause* 16: 1009–1013.
44. Havlik RJ, Phillips CL, Brock DB, Lohman K, Haskell W, et al. (2005) Walking may be related to less vascular stiffness in the Activity Counseling Trial (ACT). *Am Heart J* 150: 270–275.
45. Leon AS, Casal D, Jacobs D, Jr. (1996) Effects of 2,000 kcal per week of walking and stair climbing on physical fitness and risk factors for coronary heart disease. *J Cardiopulm Rehabil* 16: 183–192.
46. Penry JT, Wilcox AR, Yun J (2010) Validity and Reliability Analysis of Cooper's 12-Minute Run and the Multistage Shuttle Run in Healthy Adults. *J Strength Cond Res*.
47. Calbet JA, Perez-Gomez J, Vicente-Rodriguez G, Ara I, Olmedillas H, et al. (2008) Look before you leap: on the issue of muscle mass assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (reply to Jordan Robert Moon comments). *Eur J Appl Physiol* 104: 587–588.
48. Cao ZB, Miyatake N, Higuchi M, Miyachi M, Ishikawa-Takata K, et al. (2010) Predicting VO<sub>2</sub>max with an objectively measured physical activity in Japanese women. *Med Sci Sports Exerc* 42: 179–186.