

Article

El Entrenamiento con Sobrecarga Progresiva Realizado Dos Veces por Semana, Disminuye la Adiposidad Abdominal y Mejora la Sensibilidad a la Insulina de Varones de Edad Avanzada con Diabetes de Tipo 2

Javier Ibañez¹, Prof. Mikel Izquierdo¹, Iñaki Argüelles², Luis Forga², José Larrión³, Marisol García-Unciti⁴, Fernando Idoate⁵ y Esteban Gorostiaga¹

¹Studies, Research and Sports Medicine Center. Government of Navarra, Pamplona-Navarra, Spain.

²Department of Endocrinology. Hospital of Navarra, Pamplona-Navarra, Spain.

³Department of Health. Hospital of Navarra, Pamplona-Navarra, Spain.

⁴Department of Dietetic and Dietotherapy. University of Navarra, Pamplona-Navarra, Spain.

⁵Department of Radiology. Clinic of San Miguel, Pamplona-Navarra, Spain.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la influencia de un programa de entrenamiento progresiva con sobrecarga dos veces por semana (PRT), sin una dieta de pérdida de peso simultánea, sobre la adiposidad abdominal y la sensibilidad a la insulina en varones de edad avanzada que padecen diabetes de tipo 2. **Diseño y métodos** utilizados en la investigación. Nueve varones de edad avanzada ($66,6 \pm 3,1$ años) con diabetes tipo 2, participaron en un programa PRT supervisado de 16 semanas para los principales grupos musculares (50-80% de 1 repetición máxima). Se valoraron la glucemia basal, HbA1c, dieta, actividad física habitual, composición corporal y fuerza máxima superior/inferior. La sensibilidad a la insulina se determinó según el procedimiento del modelo mínimo de Bergman y la grasa abdominal fue obtenida mediante tomografía computada. Las mediciones se realizaron 4 semanas antes de realizar el entrenamiento (-4), inmediatamente antes del entrenamiento (0) y en intervalos de 8 semanas (es decir, en las semanas 8 y 16) durante las 16 semanas del período de entrenamiento. **Resultados:** No se observó ninguna variación significativa en ninguno de los parámetros seleccionados previamente durante el período control de 4 semanas. Después del PRT la fuerza máxima de piernas y brazos aumentó significativamente 17,1 y 18,2%, respectivamente. Los valores de grasa abdominal visceral e hipodérmica disminuyeron significativamente 10,3% (de $249,5 \pm 97,9$ a $225,6 \pm 96,6$ cm³, $P < 0,01$) y 11,2% (de $356,0 \pm 127,5$ a $308,6 \pm 118,8$ cm³, $P < 0,01$), respectivamente, pero no se observaron cambios en la masa corporal. El PRT aumentó significativamente la sensibilidad a la insulina en 46,3% (de $2,0 \pm 1,2$ a $2,8 \pm 1,6 \times 10^4 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \mu\text{U}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$, $P < 0,01$), mientras que el valor de glucosa en sangre en ayunas disminuyó significativamente (-7,1%, $P < 0,05$) (de $146,6 \pm 28,3$ a $135,0 \pm 29,3$ mg/dl). Finalmente, se observó un incremento de 15,5% en la ingesta de energía (de $2287,1 \pm 354,7$ a $2619,0 \pm 472,1$ kcal/día, $P < 0,05$). **Conclusiones.** Dos sesiones por semana de PRT, sin una dieta de pérdida de peso simultánea, mejoran la sensibilidad a la insulina y la glucemia en ayunas y disminuyen significativamente la grasa abdominal en varones de edad avanzada con diabetes de tipo 2.

INTRODUCCION

La diabetes de tipo 2 es una enfermedad común en personas de edad avanzada (1). Estas personas tienden a sufrir una disminución en la sensibilidad a la insulina debido a su menor actividad física y a una mayor obesidad central (2). De hecho, el aumento en el tejido adiposo abdominal ha sido vinculado con diferentes alteraciones metabólicas, sobre todo con la resistencia a la insulina (3). El efecto beneficioso del acondicionamiento físico sobre la sensibilidad a la insulina ha sido bien establecido (4). El entrenamiento físico produce una pérdida preferencial de grasa de las regiones centrales y parece que esta pérdida de tejido adiposo visceral está estrechamente relacionada con una mejora en la sensibilidad a la insulina (5). Además, el ejercicio por si solo, en ausencia de cambios en la composición corporal, puede mejorar la homeostasis de la glucosa (6).

El ejercicio de resistencia aeróbico ha sido definido tradicionalmente como el modo de ejercicio más adecuado para el tratamiento de los pacientes con diabetes de tipo 2 (4). Recientemente, el Colegio Americano de Medicina de los Deportes (ACSM) ha recomendado el uso de entrenamiento con sobrecarga progresiva (PRT) como parte de un programa de ejercicios polifacético para los individuos con diabetes de tipo 2 (7). El ACSM define al PRT como el entrenamiento en el cual la sobrecarga contra la cual un músculo genera fuerza, se incrementa progresivamente a lo largo del tiempo (8). Por otro lado, debido a la información limitada sobre el papel del entrenamiento con sobrecarga para los pacientes de edad avanzada con diabetes de tipo 2, la Asociación Americana de Diabetes (ADA) sólo recomienda el PRT para individuos jóvenes con diabetes, pero no para individuos de edad avanzada ni para aquellos individuos que padecen diabetes desde hace mucho tiempo (9). Sin embargo, se sabe que la pérdida progresiva de masa y fuerza muscular, que se produce con el envejecimiento es una causa importante de debilidad, invalidez y pérdida de independencia en los ancianos, y que los adultos de edad avanzada con diabetes tienen un riesgo mayor de sufrir deterioro en el desempeño físico (10). Las intervenciones de ejercicios que mejoran el rendimiento neuromuscular en personas de edad avanzada están siendo cada vez mas reconocidas como estrategia efectiva para aumentar la independencia funcional y para disminuir la incidencia de muchas enfermedades asociadas a la edad, como la diabetes de tipo 2 (8). En este contexto, se ha demostrado que tres a cuatro sesiones por semana de PRT producen un aumento tanto en la masa como en la fuerza muscular (8) y mejoran el control de la glucemia (11,12) en los adultos mayores. Aunque estudios recientes también indican que en los adultos mayores saludables, un programa PRT de baja frecuencia (dos veces por semana) puede producir grandes aumentos en la fuerza dinámica máxima (13), hasta el momento ningún estudio realizado en adultos mayores con diabetes de tipo 2 ha comparado los efectos que tendría un PRT dos veces por semana sobre la grasa abdominal y la sensibilidad a la insulina, ni sobre el rendimiento neuromuscular. Dado que la optimización del aumento en la aptitud física es crítico para los adultos mayores sobre la base de la adhesión y el costo social, es importante determinar si estos programas de PRT de baja frecuencia producirán una mejora significativa en el control de la glucemia y en el desarrollo de fuerza en esta población. Estos regimenes de entrenamiento de baja frecuencia pueden tener una mayor adhesión al ejercicio y pueden ser más prácticos para las poblaciones sedentarias.

Por consiguiente, el propósito principal de este estudio fue evaluar en varones de edad avanzada con diabetes de tipo 2 la influencia sobre la grasa abdominal y la sensibilidad a la insulina, de dos sesiones por semana de un PRT para todo el cuerpo, sin una dieta de pérdida de peso simultánea,

DISEÑO Y METODOLOGÍA UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Diez varones de edad avanzada desentrenados y sedentarios ($66,6 \pm 3,1$ años) con un diagnóstico reciente de diabetes de tipo 2, participaron voluntariamente en un estudio de PRT supervisado de 20 semanas, dos veces por semana. Todos los sujetos tenían un valor de glucosa plasmática en ayuno que correspondía, según el criterio de ADA (14), con los valores observados en la diabetes de tipo 2 y habían recibido previamente consejos de sus médicos de atención primaria sobre los beneficios de realizar dieta y ejercicio físico. Ningún paciente del estudio había sido tratado alguna vez con agentes hipoglucemiantes ni con insulina. Nueve voluntarios completaron el protocolo de estudio. El equipo investigador excluyó a un sujeto por que no cumplió con el protocolo. Antes de ser incluidos en el estudio, todos los candidatos fueron evaluados detalladamente mediante un estudio extenso de antecedentes médicos y mediante electrocardiogramas efectuados en condiciones de descanso y de ejercicio máximo, y también por mediciones de la presión arterial. La presencia de

enfermedades cardiovasculares, neuromusculares, artríticas, pulmonares u otras enfermedades debilitadoras determinada por una o todas las herramientas de valoración, fue motivo de exclusión en la participación en el estudio. Todos los sujetos fueron cuidadosamente informados sobre los posibles riesgos y beneficios del estudio, y el mismo fue aprobado por el comité de ética del Departamento de Salud Regional. Posteriormente los sujetos firmaron un formulario de consentimiento antes de participar en el estudio. Las características físicas de los sujetos se presentan en la Tabla 1. Los sujetos fueron evaluados en cuatro ocasiones diferentes utilizando protocolos idénticos. Las mediciones iniciales (línea de base) fueron realizadas durante las primeras 4 semanas del estudio (entre las mediciones de las semanas 4 y la semana 0), tiempo durante el cual no se realizó ningún entrenamiento con sobrecarga, pero los sujetos mantuvieron sus actividades físicas recreacionales acostumbradas (por ejemplo, caminata). Esto continuó con un período de 16 semanas de entrenamiento experimental con sobrecarga supervisado. Las mediciones fueron repetidas durante el período de entrenamiento experimental real en intervalos de 8 semanas (es decir en la semana 8 y en la 16).

Variables Antropométricas

La talla de los sujetos descalzos se midió con un nivel de apreciación de 0,1cm. La masa corporal se midió con la misma balanza médica estándar con una exactitud de ± 100 g. La adiposidad del cuerpo entero fue determinada según el método de espesor de pliegues cutáneos desarrollado por Ackson y Pollock (15). La medición de los pliegues cutáneos se efectuó en siete sitios: subscapular, tricipital, axilar medio, supraíliaco, pectoral, abdominal y niveles de muslo anterior utilizando un calibre de pliegues cutáneos Harpenden. En cada sitio de medición de pliegues cutáneos se efectuaron como mínimo dos mediciones por el mismo investigador altamente experimentado.

Tomografía Computada

Los volúmenes de los tejidos adiposos viscerales e hipodérmicos fueron determinados mediante tomografía computada (CT) con un Escáner de Equilibrio de tipo *Siemens Helicoidal Somatom (Siemens, Erlangen, Alemania)*. Los factores radiográficos fueron 130 kVp y 195 mAs. El examen se realizó con los participantes en posición supina con los brazos estirados sobre la cabeza. El volumen total de grasa visceral se determinó mediante un solo escaneo de 10-mm durante 2s a nivel de las vértebras L4-L5, utilizando una imagen de exploración del cuerpo para establecer la posición de precisa de escaneo. El volumen de tejido adiposo visceral fue cuantificado trazando una línea dentro de la porción interna de la cavidad intraabdominal delimitada en el aspecto interno de las paredes de los músculos abdominal y oblicuo que rodean la cavidad y el aspecto anterior del cuerpo vertebral con la interfaz computarizada del escáner. El tejido adiposo fue resaltado y calculado utilizando un rango de atenuación de 190 a 30 unidades de Hounsfield. El volumen del tejido adiposo subcutáneo fue cuantificado resaltando tejido adiposo localizado entre la piel y el aspecto externo de la pared del músculo abdominal. El mismo individuo analizó todos los escaneos. La confiabilidad test-re-test fue $r = 0,99$ para 18 escaneos, con un coeficiente de variación inferior a 2%.

Análisis de la Ingesta y del Gasto Energético

Todos los sujetos fueron entrevistados por un nutricionista experimentado y recibieron instrucciones sobre cómo completar precisamente el registro de alimentos. Los participantes completaron un registro de alimentos de tres días (incluyendo 1 día del fin de semana). Todos los registros de alimentos fueron analizados mediante el software DIETSOURCE (*Programa DietSource, Versión 1,0; Novartis, Barcelona, España*). La actividad física habitual fue evaluada mediante acelerometría (*Sistema TriTrac-R3D, Software Versión 2.04; Madison, WI*). El TriTrac-R3D fue adosado a un cinturón que se sujetó firmemente en la región anterior del torso del sujeto a nivel de la cintura. El registro del TriTrac fue registrado minuto-por-minuto durante 2 días durante la semana y 2 días durante fin de semana.

Test de Tolerancia a la Glucosa con Muestreo Intravenoso Frecuente

Durante el procedimiento los sujetos se recostaron cómodamente. Un catéter intravenoso fue insertado en la vena antecubital de cada brazo. Un catéter se utilizó para la recolección de sangre, mientras que en el otro catéter se inyectó el bolo de glucosa. Luego de la colocación de los catéteres, se permitió un receso de 30 min antes de realizar la extracción de sangre inicial. Las muestras iniciales (línea de base) se recolectaron en tubos *Vacurette (Greiner, Kremismuenster, Alemania)* a -15 y -5 min, luego de lo cual se inyectó la glucosa (*Glucosmon R50, BYK ELMU S.A.; Madrid, España*) (300 mg/kg de peso corporal, solución acuosa al 50%) a lo largo de 1 min comenzando en el tiempo 0. A los 20 min, se inyectó insulina regular (0,03 unidades/kg) en forma de bolo. Las muestras adicionales fueron extraídas de una vena antecubital contralateral en los tiempos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160 y 180. Las muestras de sangre fueron centrifugadas y el plasma resultante fue almacenado a -80°C hasta el momento de análisis.

Los sujetos registraron la última comida en la tarde anterior a la prueba y se les solicitó que repitieran la misma comida en la tarde previa al test intravenoso de tolerancia a la glucosa de muestreo frecuente (FSIVGTT), realizado luego del

entrenamiento. Además, se solicitó a los sujetos que realizaran ayuno de 12 h durante la noche previa a cada FSIVGTT. El FSIVGTT post-ejercicio se realizó 24 horas después de la última sesión de entrenamiento.

Variables Biológicas

Las muestras de sangre en reposo fueron obtenidas en la semana -4 (4 semanas antes del comienzo del entrenamiento) y en las semanas 0, 8 y 16 durante el período de entrenamiento. Los sujetos acudieron al laboratorio y permanecieron sentados en silencio durante 10-15 min antes de que se les extrajera la muestra de sangre. Las muestras de sangre venosa fueron obtenidas en reposo entre las 8:00 y 9:00 am de la vena antecubital y en las mismas se determinaron las concentraciones séricas de testosterona total, testosterona libre y cortisol. Las muestras de sangre fueron extraídas en el mismo momento del día para reducir los efectos de la variación diurna en las concentraciones de las hormonas. La sangre se extrajo luego de un ayuno de 12 horas y de 1 día de actividad física mínima. La glucemia basal y HbA1c fueron analizadas con el método enzimático de la hexoquinasa (*Roche Diagnostics, Mannheim, Germany*) y cromatografía líquida de alta eficacia de intercambio iónico (*Menarini Diagnostics, Hi AUTO 8140 DCCT, Caliber*), respectivamente. Las muestras para el análisis de hormonas fueron centrifugadas y a continuación se retiró el suero que fue congelado a -20°C para el análisis posterior. Las determinaciones de cortisol y testosterona séricas fueron realizadas mediante radioinmunoanálisis. Las concentraciones séricas de testosterona total y libre, y las de cortisol fueron determinadas mediante kits comerciales de determinación *Diagnostic Product Corporation and INC-STAR Corporation (Coat-A-Count Total/ Free Testosterone TKTT11CS y GammaCoat Cortisol Radioimmunoassay Kit)*. Las sensibilidades de las pruebas de detección de la testosterona total y de la testosterona libre fueron 0,14 nmol/l y 0,15 pmol/l, respectivamente. La sensibilidad de la prueba para cortisol fue 0,21 µg/dl. Todas las muestras para cada hormona, fueron analizadas en el mismo ensayo de determinación siguiendo las instrucciones del fabricante.

Evaluación física

Se evaluó la fuerza máxima porque previamente se ha postulado que la disminución en la fuerza máxima relacionada con la edad es una causa importante de debilidad e invalidez, estrechamente relacionada a la pérdida de masa muscular (8). Se evaluó la fuerza máxima superior e inferior del cuerpo por medio de una repetición máxima (1RM) en una acción concéntrica de media sentadilla y de press de banca, respectivamente. Una descripción detallada del procedimiento de evaluación de 1RM puede encontrarse en cualquier parte (12). Brevemente, en la media sentadilla los sujetos comenzaron la prueba levantando una barra hasta hacer contacto con los hombros con discos de peso en ambos extremos de la barra. Al escuchar la orden, los sujetos realizaban una extensión concéntrica (tan rápido como les fuera posible) de los músculos de las piernas comenzando con un ángulo de la rodilla de 90° hasta lograr la extensión completa a 180°. En el press de banca, la barra fue colocada 1 centímetro por encima del pecho del sujeto apoyada en los soportes del dispositivo de medición. Se define fuerza máxima en media sentadilla como el peso máximo que se logra levantar en un rango completo de movimiento con la forma adecuada. En todas las pruebas, se proporcionó a los sujetos un fuerte estímulo verbal para motivarlos a realizar cada acción de prueba alcanzando el máximo posible y tan rápidamente como pudieran.

Protocolo de Entrenamiento

El programa de entrenamiento de sobrecarga utilizado en el estudio presente fue similar al informado previamente (13) y es una combinación de entrenamiento de sobrecarga pesada y sobrecarga "explosiva." Se eligió este tipo de entrenamiento de sobrecarga combinado porque el rendimiento en actividades diarias requiere tanto fuerza como potencia muscular, por lo que el entrenamiento con sobrecarga pesada puede ser combinado con tipos de ejercicios explosivos haciendo también hincapié en mayores velocidades de acción en los ejercicios que se realizan. Además, ha sido informada previamente como una estrategia eficaz para minimizar las disminuciones en la masa muscular, fuerza máxima y producción de potencia muscular relacionadas con la edad (13) en los varones de edad avanzada sin diabetes de tipo 2. Se solicitó a los sujetos que acudieran al sitio de entrenamiento dos veces por semana durante 16 semanas para realizar el ejercicio con sobrecarga dinámico, durante 45-60 min por sesión. Entre dos sesiones de entrenamiento consecutivas debía transcurrir un mínimo de 2 días. Cada sesión de entrenamiento incluyó dos ejercicios para los músculos extensores de la pierna (ejercicios de press de pierna bilateral y extensión de rodilla bilateral), un ejercicio para el músculo extensor del brazo (press de banca) y cuatro o cinco ejercicios para los grupos musculares principales del cuerpo. Durante todo el período de entrenamiento sólo se utilizaron máquinas de sobrecarga (*Techno-gym, Gambettola, Italia*). En este estudio la resistencia aumentó o disminuyó progresivamente todas las semanas durante las 16 semanas del período de entrenamiento utilizando la metodología de una repetición máxima, de modo que las cargas que originaban una intensidad relativa se mantuvieran sin cambio semana a semana.

Durante las primeras 8 semanas del período de entrenamiento, los sujetos entrenaron con cargas de 50 -70% de 1-RM individual, 10-15 repeticiones por serie y tres a cuatro series de cada ejercicio. Durante las últimas 8 semanas del período de entrenamiento, las cargas fueron 70-80% de 1RM, cinco a seis repeticiones por serie (cargas más altas) y tres a cinco series. Además, de la semana 8 a la semana 16, los sujetos realizaron una parte de las series (20%) de los extensores de piernas y de press de banca con cargas que iban de 30 a 50% de 1RM. En estas ocasiones de entrenamiento, los sujetos

realizaron seis a ocho repeticiones por serie y tres a cuatro series de cada ejercicio, pero ejecutaron todas estas repeticiones tan rápidamente como pudieran. En todas las sesiones de ejercicios individuales realizadas, uno de los investigadores estaba presente para dirigir y ayudar a los sujetos a implementar las tasas de trabajo y cargas apropiadas.

Análisis Estadístico

Para calcular las desviaciones medias y estándares (SDs) se utilizaron métodos estadísticos estándares. La comparación estadística durante el período control (semana -4 a semana 0) se realizó mediante el test-t de muestras apareadas. Los efectos asociados al entrenamiento fueron analizados mediante un ANOVA de dos vías con mediciones repetidas (Grupo X Tiempo). En aquellos casos en que se observaba un valor de F significativo, se aplicó el test *post hoc* de Sheffé para determinar entre cuales pares de medias se producían las diferencias. Los valores de potencia estadística para este estudio fueron de 0,75 a 0,80. Para establecer la significancia estadística se fijó un valor de $P < 0,05$.

RESULTADOS

Mediciones Iniciales

La composición corporal, la fuerza máxima, glucemia basal, HbA_{1c}, ingesta calórica y la actividad física habitual, así como también cortisol sérico y a testosterona total y testosterona libre, se mantuvieron sin cambio durante el período control de 4 semanas (de la semana 4 a la semana 0) (Tabla 1).

	Semana -4	Semana 0	Semana 8	Semana 16
Edad	66,6 ± 3,1	—	—	—
Antropometría				
Peso Corporal (kg)	80,6 ± 9,8	80,3 ± 10,0	80,3 ± 10,3	79,8 ± 10,2
IMC (kg/m²)	28,3 ± 2,7	28,2 ± 2,7	28,1 ± 2,8	28,3 ± 2,7
Suma de pliegues cutáneos (mm)	141,3 ± 35,3	138,9 ± 36,5	135,7 ± 35,9	127,1 ± 35,1*
Porcentaje de grasa corporal (%)	24,0 ± 3,9	23,7 ± 4,0	23,4 ± 3,9	22,4 ± 3,9*
Adiposidad abdominal				
Grasa subcutánea (cm³)	364,9 ± 137,3	356,0 ± 127,5	—	308,6 ± 118,8†
Grasa visceral (cm³)	255,4 ± 94,1	249,5 ± 97,9	—	225,6 ± 96,6*
Ingesta de energía (kcal/día)	2332,7 ± 346,0	2287,1 ± 354,7	—	2619,0 ± 472,1†
Actividad física habitual (kcal/día)	2344,5 ± 485,5	2261,3 ± 361,4	—	2437,7 ± 393,3 (P = 0,07)
Variables Metabólicas				
Niveles de glucosa plasmática en ayunas (mg/dl)	150,6 ± 28,1	146,6 ± 28,3	147,3 ± 33,7	135,0 ± 29,3†
Niveles de HbA_{1c} (%)	6,2 ± 0,9	6,2 ± 0,9	5,8 ± 1,2 (P = 0,06)	6,2 ± 0,9
Índice de sensibilidad a la insulina ($\cdot 10^{-4} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \mu\text{U}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$)	—	2,0 ± 1,2	—	2,8 ± 1,6*
Concentraciones hormonales				
Testosterona total (µg/ml)	4,0 ± 1,6	3,1 ± 0,8	2,9 ± 1,3	3,0 ± 1,3
Testosterona libre (pg/ml)	15,5 ± 7,3	13,2 ± 4,5	13,9 ± 8,1	12,5 ± 6,8
Cortisol (µg/ml)	13,6 ± 4,6	12,4 ± 3,6	13,8 ± 3,4	11,4 ± 2,5
Rendimiento de fuerza muscular				
1-RM en press de banca (kg)	62,7 ± 7,1	63,3 ± 6,9	68,4 ± 6,7*	74,1 ± 7,6*
1-RM en media sentadilla (kg)	103,0 ± 9,7	104,5 ± 8,0	116,7 ± 8,2*	124,2 ± 8,0*

Tabla 1. Determinación de las variables antropométricas, de adiposidad abdominal, de ingesta y consumo energético, metabólicas,

de concentración hormonal y de fuerza superior e inferior del cuerpo durante el período control (semana -4 a 0) y luego del programa de entrenamiento de 16 semanas (semanas 8 y 16). Los valores se presentan en forma de Media \pm SD. * $P < 0,001$ y $tP < 0,05$ vs. el correspondiente valor obtenido antes del entrenamiento. IMC= Índice de masa corporal

Nivel de Acatamiento y Eventos Adversos

El cien por ciento de adherencia a las sesiones de ejercicios se fijó en 32 sesiones de entrenamiento (dos veces por semana durante 16 semanas). En nueve sujetos, el cumplimiento promedio a las sesiones del ejercicio fue 99,3% (rango 97-100%). Un sujeto fue excluido debido a que su asistencia a las sesiones de ejercicio fue sólo 65%. Además de dolor musculoesquelético pasajero, no se reportaron otras complicaciones ni lesiones importantes.

Antropometría y Composición Corporal

La masa corporal no varió significativamente después de las 16 semanas del período de entrenamiento, mientras que la suma de los siete pliegues cutáneos disminuyó significativamente de $138,9 \pm 36,5$ a $127,1 \pm 35,1$ mm (8,5%, $P < 0,001$) (Tabla 1). El tejido adiposo intra-abdominal disminuyó significativamente de 10,3% ($249,5 \pm 97,9$ a $225,6 \pm 96,6$ centímetros, $P < 0,01$) (Figura 1), y la grasa subcutánea abdominal disminuyó de 11,2% ($356,0 \pm 127,5$ a $308,6 \pm 118,8$ cm^3 , $P < 0,01$) (Tabla 1).

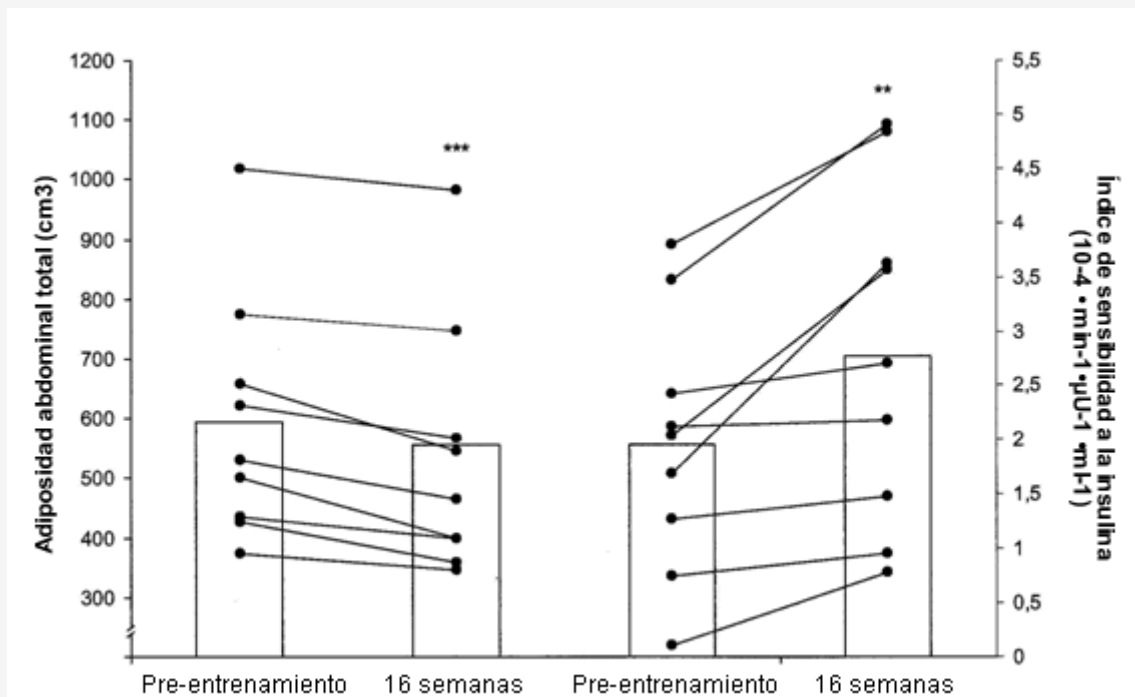


Figura 1. Adiposidad abdominal total y sensibilidad a la insulina antes del entrenamiento (pre-entrenamiento) y luego del periodo de entrenamiento con sobrecarga de 16 semanas determinadas en cada sujeto. Las barras representan valores medios; ** $P < 0,01$ y *** $p < 0,001$ vs. el valor correspondiente obtenido antes del entrenamiento

Fuerza Muscular y Hormonas Séricas

Después de 16 semanas de PRT, se observaron grandes aumentos en la fuerza máxima de piernas de 17,1% (de $104,5 \pm 8,0$ a $124,2 \pm 8,0$ kg, $P < 0,001$) y en la fuerza de brazos de 18,2% (de $63,3 \pm 6,9$ a $74,1 \pm 7,6$ kg, $P < 0,001$) (Tabla 1). Los niveles séricos de testosterona total, testosterona libre y cortisol se mantuvieron sin cambios a lo largo del entrenamiento (Tabla 1).

Variables Metabólicas

Como se observa en la Tabla 1, después de 16 semanas de PRT, la sensibilidad a la insulina aumentó significativamente $46,3\%$ ($2,0 \pm 1,2$ a $2,8 \pm 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \mu\text{U}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$, $P < 0,01$) (Figura 1) y la glucosa sanguínea en ayuno disminuyó significativamente $7,1\%$ (de $146,6 \pm 28,3$ a $135,0 \pm 29,3$ mg/dl, $P < 0,05$), mientras que HbA1c se mantuvo sin cambio (de $6,2 \pm 0,9$ a $6,2 \pm 0,9\%$). En la hemoglobina glicosilada, se observó una disminución casi significativa de $6,2\%$ ($P = 0,06$) durante las primeras 8 semanas de entrenamiento.

Ingesta de Energía y Actividad Física Habitual

El análisis de los registros dietéticos indicó que después del entrenamiento con sobrecarga la ingesta calórica aumentó significativamente un $15,5\%$ (de $2287,1 \pm 354,7$ a $2619,0 \pm 472,1$ kcal/día, $P < 0,05$), mientras que no se observó ningún cambio en la actividad física habitual (de $2261,3 \pm 361,4$ a $2437,7 \pm 393,3$ kcal/día, $P = 0,07$).

CONCLUSIONES

Los principales descubrimientos de este estudio fueron que el entrenamiento con sobrecarga prolongado, realizado dos veces por semana a intensidades de 50-80% de 1-RM en varones de edad avanzada con diabetes de tipo 2 provocó 1) aumentos significativos en la fuerza muscular, 2) disminuciones significativas en la grasa abdominal y 3) aumentos significativos en la sensibilidad a la insulina. Estas mejoras metabólicas se observaron incluso en ausencia de variación en la masa corporal y con un incremento significativo en la ingesta calórica auto informada. Estas observaciones sugieren que dos sesiones por semana de PRT son seguras y pueden servir como una potencial terapia adjunta en el manejo de la diabetes tipo 2 en los varones de edad avanzada. Podría tener una importante relevancia práctica para el diseño óptimo de los programas de entrenamiento físico para varones de edad avanzada con diabetes de tipo 2.

En la actualidad existe poca información sobre el efecto de PRT en las perturbaciones metabólicas y en la adaptación de la composición corporal en individuos con diabetes de tipo 2. Tres estudios recientes realizados con mujeres de mediana edad (16) y mujeres postmenopáusicas (12) y con varones de edad avanzada (11) han demostrado que, tanto los ejercicios de sobrecarga agudos (16) como los crónicos (11,12), son eficaces para el control de la glucosa, lo que ofrece una alternativa al ejercicio aeróbico para los individuos con diabetes de tipo 2. Con respecto a los varones de edad avanzada, Castaneda et al. (11) observaron que 16 semanas de PRT (tres veces por semana) con intensidades de entrenamiento de 60-80% de 1RM mejoraron el control de la glucemia, medida a través de HbA1c, a pesar de que la glucemia basal media no varió. En el estudio presente, los nueve sujetos aumentaron la sensibilidad a la insulina y la efectividad de la glucosa, determinadas mediante FSIVGTT. Adicionalmente, todos menos uno mejoraron la glucosa plasmática en ayuno, mientras que los valores medios de HbA1c no cambiaron. Un mecanismo potencial que explique como podría el entrenamiento con sobrecarga mejorar la sensibilidad a la insulina, no ha sido informado todavía. Sin embargo, existe evidencia sólida de que el ejercicio solo, en ausencia de cualquier cambio en el peso o en la composición corporal, puede aumentar significativamente la sensibilidad a la insulina y la homeostasis de la glucosa (6). Mas aún, la resistencia a la insulina en la vejez ha sido estrechamente asociada con la obesidad abdominal (3) y se ha informado que el PRT puede inducir una disminución en el tejido adiposo abdominal en los varones de edad avanzada (11,17). Más recientemente, Rice et al. (18) sugirieron que la mejor sensibilidad a la insulina después del entrenamiento con sobrecarga puede estar relacionado en parte con las disminuciones concomitantes en el tejido adiposo hipodérmico visceral y abdominal o en la obesidad abdominal. En el estudio presente, el PRT produjo disminuciones tanto en el tejido adiposo abdominal visceral como en el tejido subcutáneo (Tabla 1) en los nueve sujetos. Sin embargo, no se observó ninguna relación significativa entre los cambios individuales en la sensibilidad a la insulina o la glucemia en ayunas y los cambios individuales en la grasa abdominal o en los aumentos de fuerza.

Con respecto a las razones vinculadas a las pérdidas de grasa abdominal, la dieta debe ser excluida porque se observó en los sujetos un aumento concomitante en la ingesta calórica media ($\sim 15\%$), al final del programa de intervención. En contraste, la mayoría de los estudios han demostrado un aumento en la tasa metabólica en reposo en los individuos de edad avanzada en respuesta al entrenamiento con sobrecarga (19), principalmente explicado (60-70% de la variabilidad entre los individuos) por los aumentos en la masa magra (FFM) inducidos por el entrenamiento (20). Lamentablemente, en el estudio presente no se midió la masa, aunque diferentes estudios desarrollados en nuestro laboratorio utilizando un programa PRT idéntico con varones mayores saludables de edad similar, han producido incrementos significativos de $\sim 11\%$ en el área transversal de los músculos del muslo (13). Por lo tanto, en el presente estudio, aunque no haya sido establecido el mecanismo responsable de la mayor sensibilidad a la insulina, un aumento significativo de $\sim 17\%$ en la fuerza máxima de piernas y brazos, acompañado por una disminución significativa de la adiposidad corporal del cuerpo entero ($\sim 5,5\%$) y del tejido adiposo abdominal, sin cambios en la masa corporal, sugiere que este PRT podría aumentar la masa magra (FFM) y más probablemente la masa muscular. Finalmente, un aumento en la masa muscular puede tener un efecto significativo en la tolerancia a la glucosa y en la sensibilidad a la insulina. De hecho, un aumento en la masa

muscular podría aumentar el área disponible de almacenamiento de glucosa, facilitando así el clearance de glucosa desde la circulación y reduciendo la cantidad de insulina necesaria para mantener una tolerancia de glucosa normal (21). Eriksson et al. (22) observaron que después de un PRT de 3 meses el aumento en el control de la glucemia se correlacionaba fuertemente con el tamaño muscular. Además, en un reciente estudio se ha propuesto que el aumento en la sensibilidad a la insulina después del entrenamiento con sobrecarga se produce a través de un aumento en la masa muscular sin alterar la capacidad intrínseca del músculo de responder a la insulina (23).

Una gran variación individual en la sensibilidad a la insulina se observó en respuesta al PRT en individuos que mostraron niveles tanto bajos como altos de sensibilidad a la insulina antes del entrenamiento. Uno podría esperar una mayor respuesta al PRT en los sujetos con la sensibilidad a la insulina más alta (24). Así, esta variación en la respuesta al entrenamiento que podría estar relacionada tanto al número pequeño de sujetos que participaron en este estudio como a los factores no dependientes de insulina (23), debería dejar sin efecto una conclusión objetiva sobre quién responde mejor a este tipo de PRT.

El estudio presente tiene varias limitaciones. Primero, a pesar de la falta de un grupo control, el diseño del estudio presente fue realizado con dos mediciones iniciales, lo que sugiere que los participantes eran estables para con respecto a los resultados del estudio. Este diseño de investigación fue seleccionado principalmente por que era muy difícil reclutar más de nueve participantes de edad avanzada con diabetes tipo 2 recientemente diagnosticada, que no estuvieran consumiendo medicación antidiabética y quisieran realizar un programa de entrenamiento extremo de este tipo, teniendo presente que la caminata es el ejercicio usual en varones de edad avanzada con diabetes de tipo 2 en esta etapa de sus vidas. Segundo, también asumimos que debería ser importante confirmar que el área transversal de los músculos entrenados acompañó este tipo de PRT en los individuos de edad avanzada con diabetes de tipo 2.

A pesar de estas limitaciones, este estudio apoya la seguridad y efectividad de realizar un PRT dos veces por semana para varones de edad avanzada con diabetes de tipo 2. Después de 16 semanas de PRT, observamos mejoras significativas en la fuerza muscular, sensibilidad a la insulina y tolerancia a la glucosa y una disminución significativa en la grasa abdominal.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado en parte por el Instituto Navarro de Deporte y Juventud, del Gobierno de Navarra (España), y por la Fundación de Endocrinología, Nutrición y Metabolismo de Navarra.

REFERENCIAS

1. Harris MI, Hadden WC, Knowler WC, Bennet PH (1987). Prevalence of diabetes and impaired glucose tolerance and plasma glucose levels in the U.S. population age 20-74 yr. *Diabetes* 36:523-534
2. Coon PJ, Rogus EM, Drinkwater D, Muller DC, Goldberg AP (1992). Role of body fat distribution in the decline in insulin sensitivity and glucose tolerance with age. *J Clin Endocrinol Metab* 75:1125-1132
3. Kohrt WM, Kirwan JP, Staten MA, Bourey RE, King DS, Holloszy JO (1993). Insulin resistance in aging is related to abdominal obesity. *Diabetes* 42:273-281
4. Borghouts LB, Keizer HA (2000). and insulin sensitivity: a review. *Int J Sports Med* 21:1-12
5. Mourier A, Gautier JF, De Kerviler E, Bigard AX, Villette JM, Garnier JP, Duvallet A, Guezennec CY, Cathelineau G (1997). Mobilization of visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM. *Diabetes Care* 20:385-391
6. Boule NG, Haddad E, Kenny GP, Wells GA, Sigal RJ (2001). Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus. *JAMA* 286:1218-1227
7. Albright A, Franz M, Hornsby G, Kriska A, Marrero D, Ullrich I, Verity L (2000). American College of Sports Medicine position stand: exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 32:1345-1360
8. American College of Sports Medicine (1998). Exercise and physical activity for older adults: position stand. *Med Sci Sports Exerc* 30:992-1008
9. American Diabetes Association (2001). Diabetes mellitus and exercise (Position Statement). *Diabetes Care* 24 (Suppl. 1):S51- S55
10. Maty SC, Fried LP, Volpato S, Williamson J, Brancati FL, Blaum CS (2004). Patterns of disability related to diabetes mellitus in older women. *J Gerontol* 59A:148-153
11. Castaneda C, Layne JE, Munoz-Orians L, Gordon PL, Walsmith J, Foldvari M, Roubenoff R, Tucker KL, Nelson ME (2002). A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2

diabetes. *Diabetes Care* 25:2335-2341

12. Cuff DJ, Meneilly GS, Martin A, Ignaszewski A, Tildesley HD, Frohlich JJ (2003). Effective exercise modality to reduce insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 26:2977-2982
13. Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Garrue's M, Anton A, Zuñiga A, Larrío'n JL, Gorostiaga EM (2001). Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 90:1497-1507
14. American Diabetes Association (2004). Screening for type 2 diabetes (Position Statement). *Diabetes Care* 27 (Suppl. 1):S11- S14
15. Jackson AS, Pollock M (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 40:497-504
16. Fenicchia LM, Kanaley JA, Azevedo JL, Miller CS, Weinstock RS, Carhart RL, Ploutz-Snyder LL (2004). Influence of resistance exercise training on glucose control in women with type 2 diabetes. *Metabolism* 53:284-289
17. Treuth MS, Ryan AS, Pratley RE, Rubin MA, Miller JP, Nicklas BJ, Sorkin J, Har-man SM, Goldberg AP, Hurley BF (1994). Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *J Appl Physiol* 77:614-620
18. Rice B, Janssen I, Hudson R, Ross R (1999). Effects of aerobic or resistance exercise and/or diet on glucose tolerance and plasma insulin levels in obese men. *Diabetes Care* 22:684-691
19. Hurley BF, Roth SM (2000). Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Med* 30:249-268
20. Tataranni PA, Ravussin E (1995). Variability in metabolic rate: biological sites of regulation. *Int J Obes* 19 (Suppl. 4):S102-S106
21. Miller WJ, Sherman WM, Ivy JL (1984). Effect of strength training on glucose tolerance and postglucose insulin response. *Med Sci Sports Exerc* 16:539-543
22. Eriksson J, Taimela S, Eriksson K, Parviainen S, Peltonen J, Kujala U (1997). Resistance training in the treatment of non-insulin-dependent diabetes. *Int J Sports Med* 18: 242-246
23. Poehlman ET, Dvorak RV, DeNino WF, Brochu M, Ades PA (2000). Effects of resistance training and endurance training on insulin sensitivity in nonobese young women: a controlled randomized trial. *J Clin Endocrinol Metab* 85:2463-2468
24. Schneider SH, Morgado A (1995). Effects of fitness and physical training on carbohydrate metabolism and associated cardiovascular risk factors in patients with diabetes mellitus. *Diabetes Rev* 3:378 - 407
25. Schneider SH, Morgado A (1995). Effects of fitness and physical training on carbohydrate metabolism and associated cardiovascular risk factors in patients with diabetes mellitus. *Diabetes Rev* 3:378 - 407

Cita Original

Javier Ibanez, Mikel Izquierdo, Iñaki Argüelles, Luis Forga, José. Larrío'n, Marisol García-Unciti, Fernando Idoate and Esteban Gorostiaga. Twice-Weekly Progressive Resistance Training Decreases Abdominal Fat and Improves Insulin Sensitivity in Older Men With Type 2 Diabetes. *Diabetes Care* 28:662-667, 2005