

Article

Efecto de Seis Meses de Entrenamiento Combinado de la Fuerza y la Resistencia en Pacientes Ancianos con Historial de Diabetes Tipo 2

Sijie Tan¹, Wei Li² y Jianxiong Wang³¹*Department of Health and Exercise Science. Tianjin University of Sport, China.*²*Department of Physical Education. Tianjin University of Finance & Economics, China.*³*Centre for Systems Biology, Department of Biological & Physical Sciences. University of Southern Queensland, Australia.*

RESUMEN

En este estudio evaluamos los efectos de un programa de entrenamiento aeróbico y de la fuerza combinados de 6 meses, en la composición corporal, control glucémico, perfil lipídico y capacidad funcional de pacientes de edad avanzada con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2. Veinticinco sujetos ($65,9 \pm 4,2$ años; M/F: 13/12) con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2 ($16,7 \pm 6,7$ años) fueron asignados al azar a un grupo que realizó ejercicios o a un grupo control. El grupo que realizó los ejercicios realizó entrenamiento tres sesiones por semana. Cada sesión consistió en un período de entrada en calor, 30 minutos de ejercicio aeróbico moderado, 10 minutos de entrenamiento de la fuerza con cinco ejercicios para los músculos de las piernas (dos series de 10-12 repeticiones a 50-70 % de 1RM para cada actividad) y un período de vuelta a la calma. Las variables de composición corporal, control glucémico, perfil lipídico y capacidad funcional fueron determinadas antes y después del período de estudio. El entrenamiento físico disminuyó la relación cintura-cadera y grasa corporal de los sujetos entrenados. Las concentraciones de glucosa plasmática en ayunas y luego de 2 horas de la administración de glucosa por vía oral, la insulina en el suero y la hemoglobina glicosilada disminuyeron significativamente en el grupo que realizó los ejercicios. El entrenamiento físico mejoró el perfil de lípidos y también aumentó la fuerza de los músculos de las piernas y la distancia de caminata de 6 minutos en los sujetos entrenados. Por otra parte, el grupo control aumentó su grasa corporal y la glucosa plasmática en ayunas, pero no presentó cambios en las otras variables durante el período del estudio. Los resultados actuales demuestran que los pacientes de edad avanzada con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2, pueden beneficiarse de un programa con entrenamiento aeróbico y de la fuerza combinados de 6 meses.

Palabras Clave: Diabetes de tipo 2, entrenamiento físico, control glucémico, perfil de lípidos, capacidad funcional

INTRODUCCION

Se ha demostrado que el entrenamiento físico es una opción útil para tratar y prevenir la diabetes de tipo 2 (Albright et al., 2000; Gill and Cooper, 2008; Ivy, 1997; Praet y van Loon, 2009). Los efectos terapéuticos del entrenamiento físico en los pacientes con diabetes de tipo 2 incluyen mejoras en el control glucémico (Loimaala et al., 2009; Maiorana et al., 2002; Sigal et al., 2007), la función cardiorrespiratoria (Larose et al., 2010; Loimaala et al., 2009; Maiorana et al., 2002), composición corporal (Walker. Et al, 1999), perfil de lípidos (Cauza et al., 2005; Dunstan et al., 1997), y la función del músculo esquelético (Cauza et al., 2005; Larose et al., 2010; Taylor et al., 2009). Tanto el entrenamiento aeróbico como el entrenamiento de la fuerza han sido aplicados en las prescripciones de ejercicios y ambos han producido beneficios en los pacientes con diabetes de tipo 2. El entrenamiento aeróbico mejora el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) (Belli et al., 2011; Cauza et al., 2005), mientras que el entrenamiento de la fuerza aumenta la fuerza muscular y el tamaño de la fibra muscular (Brooks et al., 2007; Cauza et al., 2005). Se ha informado que ambos métodos de entrenamiento mejoran el control de la glucosa sanguínea y la sensibilidad a la insulina de los pacientes con diabetes de tipo 2 (Belli et al., 2011; Brooks et al., 2007; Cauza et al., 2005; Holten et al., 2004). Además, algunos estudios que utilizaron entrenamiento aeróbico y entrenamiento de la fuerza combinados también han informado resultados positivos para dichos pacientes (Larose et al., 2010; Loimaala et al., 2009; Maiorana et al., 2002). En un metaanálisis se estableció que la combinación de entrenamiento aeróbico con entrenamiento de la fuerza tiene beneficios adicionales en la mejora de la sensibilidad a la insulina y en la disminución de la masa corporal y de la concentración de glucosa sanguínea en ayunas, en comparación con los beneficios del entrenamiento aeróbico o de la fuerza por si solos (Snowling y Hopkins, 2006).

Boule et al. (2003) realizaron un estudio de meta análisis sobre los efectos del entrenamiento físico en los pacientes con diabetes de tipo 2. Sus resultados indicaron que los pacientes en los previos tenían una edad media de 55,7 años y una duración media de padecimiento de diabetes de tipo 2 de 4,1 años. Según nuestros conocimientos, pocos estudios han investigado el beneficio global del entrenamiento físico en pacientes de edad avanzada con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2. En el estudio presente, nosotros reclutamos un grupo de pacientes de edad avanzada (> 60 años) con antecedentes de diabetes de tipo 2 de larga duración (> 10 años), y nuestro objetivo fue evaluar los efectos de seis meses de entrenamiento físico sobre la composición corporal, control glucémico, perfil lipídico y capacidad funcional. Un informe reciente indicó que la función del músculo esquelético disminuía en los pacientes asiáticos con diabetes de tipo 2 (Tajiri et al., 2010). Por lo tanto, en el estudio presente, nosotros diseñamos un programa de entrenamiento aeróbico combinado con entrenamiento de la fuerza para obtener los resultados beneficiosos de un programa aeróbico con atención adicional sobre el rendimiento del musculo esquelético, para para producir un rango más amplio de beneficios en la salud global de nuestros sujetos. Nosotros planteamos la hipótesis que este entrenamiento físico combinado produciría efectos beneficiosos en este grupo de sujetos.

METODOS

Sujetos

En este estudio participaron treinta pacientes de edad avanzada ($65,9 \pm 4,2$ años) con diagnóstico médico de diabetes de tipo 2. Fueron reclutados por los médicos locales. La duración media de su diabetes de tipo 2 era de 16 años. Los criterios de diagnóstico para diabetes de tipo 2 fueron: 1) una concentración de glucosa plasmática en ayuno de $7,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ o superior o 2) una concentración de glucosa plasmática de $11,1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ o superior dos horas después de una estimulación con glucosa por vía oral (Asociación Americana de Diabetes, 2010). Todos los sujetos tomaban hipoglucemiantes por vía oral pero ninguno de ellos estaba bajo tratamiento con insulina cuando se inscribió en el estudio. Los criterios de exclusión fueron padecer enfermedad cardíaca, presión arterial en reposo mayor a 160/95 mmHg, enfermedades pulmonares, función renal o hepáticas alteradas o que fueran incapaces de realizar el protocolo de ejercicios debido a limitaciones ortopédicas o neurológicas. Antes de que se recolectaran los datos iniciales, una persona ajena al estudio distribuyó al azar a los sujetos inscriptos en cinco grupos de 6-personas. Los grupos 1, 3 y 5 fueron asignados al grupo que realizó ejercicios ($n = 18$), mientras que los grupos 2 y 4 fueron asignados al grupo control ($n = 12$). Se brindó una explicación a los sujetos sobre los detalles exactos del estudio y cada uno de ellos firmó un consentimiento informado escrito para participar en el estudio. Todos los métodos y procedimientos de este estudio fueron aprobados por el Comité de Ética de Universidad de Deportes de Tianjin, China.

Diseño del Estudio

Los participantes del grupo que realizó ejercicios realizaron seis meses de entrenamiento físico dirigido según requisitos

específicos (ver la sección sobre el programa de entrenamiento físico), mientras que los participantes del grupo control debían mantener sus hábitos individuales de actividad física y abstenerse de participar en cualquier otra forma de entrenamiento físico prescrito durante el período del estudio. Al inicio del estudio y luego de seis meses de intervención se realizaron mediciones de composición corporal, VO_{2max} estimado, presión arterial, concentración de glucosa e insulina sanguíneas, hemoglobina glicosilada (HbA_{1c}), perfil de lípidos plasmáticos, fuerza de los músculos de las piernas y capacidad de caminata. Las tres pruebas de ejercicio (es decir VO_{2max} , fuerza de los músculos de las piernas y capacidad de caminata) fueron realizadas en días separados. Todas las pruebas y las sesiones de entrenamiento fueron realizadas bajo la supervisión de los investigadores, en el laboratorio y campos de deportes de Fisiología de Ejercicio de la Universidad de Deportes de Tianjin. La medicación prescrita, en las dosis usuales debía ser continuada a través del curso del estudio bajo la supervisión del médico personal de cada sujeto. Por otra parte, se solicitó a los participantes que mantuvieran sus dietas normales durante los seis meses.

Mediciones Antropométricas

Se determinaron la masa corporal y la talla de todos los participantes. El índice de masa corporal (BMI) se calculó dividiendo la masa corporal (kg) por la talla en metros cuadrados (m^2). El perímetro de cintura se midió horizontalmente a nivel del ombligo con los participantes sin ropa y el perímetro de la cadera se midió a la altura de la mayor protrusión de los músculos glúteos con ropa interior. Se calculó la relación cintura-cadera (WHR). Todas estas mediciones fueron realizadas por el mismo investigador. Cada medida se obtuvo por triplicado y se informó el promedio de las tres determinaciones.

Después de 10-12 horas de ayuno, se determinó la grasa corporal total de cada sujeto mediante un equipo de densitometría ósea directa DEXA, GE Prodigy (GE Healthcare, EE.UU.) con los participantes colocados en posición supina. Por medio del análisis estándar del tejido blando proporcionado por la misma compañía, se determinó el contenido de grasa corporal total (%) como la proporción de la cantidad total de grasa en la masa corporal total.

Determinación de la presión arterial

Después de que los sujetos habían permanecido sentados durante 10 minutos, se midió la presión arterial en la arteria braquial por el método de auscultación. El primer sonido de Korotkoff registró la presión arterial sistólica y el último fue considerado como la presión arterial diastólica. Todas estas mediciones fueron realizadas por el mismo investigador.

Consumo Máximo de Oxígeno

El VO_{2max} fue estimado mediante un test de ejercicio de intensidad submáxima en una bicicleta ergométrica. Después de una entrada en calor el trabajo inicial se fijó en la velocidad de 50 rpm para las mujeres y 60 rpm para los varones, con una resistencia de 0,5 kg durante tres minutos. El trabajo aumentó 0,5 kg cada tres minutos hasta que la frecuencia cardíaca alcanzara 120 lpm, y a partir de allí los sujetos continuaban pedaleando durante dos minutos. El VO_{2max} fue estimado utilizando el nomograma de Åstrand teniendo en cuenta la frecuencia cardíaca, sexo y edad de los sujetos. Esta prueba se realizó en una bicicleta ergométrica *Monark* y con un monitor de frecuencia cardíaca *Polar* (Electro Polar, Finlandia).

Análisis de Sangre

Se tomaron muestras de sangre en ayunas. La glucosa sanguínea se determinó mediante un analizador de glucosa (YS2300, Yellow Spring, EE.UU.). La insulina sérica se determinó mediante inmunoensayo (*Access Immunoassay System, Beckman Coulter, USA*). La hemoglobina glicosilada (HbA_{1c}) se midió con un método enzimático (Bio-Rad, Hércules, EE.UU.). La glucosa y la insulina sanguíneas también fueron medidas a los 120 minutos de una prueba de tolerancia a la glucosa oral luego de la administración de 75g de glucosa. Las concentraciones de colesterol total, triglicéridos y colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL-C) se midieron mediante kits comerciales de determinación estándares en un analizador *Cobas Integra Bioanalyser (Roche, EE.UU.)*. El colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL-C) se calculó usando la ecuación de Friedewald (Friedewald et al., 1972). Las muestras de sangre post-test de ejercicio fueron extraídas 72 horas después de la última sesión de entrenamiento.

Función de los Músculos de las Piernas

La fuerza de los músculos de las piernas se evaluó en la pierna dominante de cada sujeto. Se utilizó un dinamómetro isocinético *Cybex-Norm* para medir tanto el torque máximo de flexión plantar y de flexión dorsal isocinéticas en velocidades de $30^\circ/s$ y $60^\circ/s$. Los sujetos se colocaron en posición supina con articulación de la rodilla totalmente extendida. Para estabilizar el cuerpo se usaron correas de sujeción para el muslo y la cintura. El rango de movimiento en la articulación del tobillo se fijó entre 90° y 115° . Luego de familiarizarse con el equipo y de realizar una entrada en calor, se realizaron dos series de tres contracciones máximas y el valor más alto de estas seis contracciones se registró como el torque máximo a la velocidad dada. Dos series de ejercicio estaban separadas por un minuto de descanso.

Capacidad de Caminata

Después de recibir una explicación detallada del procedimiento y de realizar una entrada en calor, los sujetos realizaron una prueba de caminata de 6 minutos en campos de deporte. Se reportó la distancia en metros.

Programa de Entrenamiento Físico

El grupo de ejercicios realizó tres sesiones de entrenamiento por semana en el campo de deportes y en un gimnasio durante seis meses. La sesión de entrenamiento consistió en un período de entrada en calor de 10 minutos, que incluyó caminata, trote y estiramientos musculares. A continuación se realizaron 30 minutos de caminata/trote de manera alternada con una intensidad controlada dentro del 55-70% de la frecuencia cardíaca máxima estimada para cada individuo (220-edad). Luego realizaron 10 minutos de entrenamiento de la fuerza el cual incluyó cinco ejercicios para las piernas (flexión de rodillas, extensión de rodillas, abducción de la cadera, aducción de la cadera y elevaciones de talones en posición erguida) con las cargas de trabajo individualizadas a 50-70% de 1RM en el equipo de entrenamiento de la fuerza universal con múltiples estaciones. Cada ejercicio del entrenamiento de la fuerza se realizó en dos series con 10-12 repeticiones. La intensidad tanto del entrenamiento aeróbico como del entrenamiento de la fuerza se prescribió siguiendo las recomendaciones de la Asociación Americana del Corazón (Marwick et al., 1999). Al final de cada sesión de entrenamiento, se realizó un período de enfriamiento (vuelta a la calma) de 10 minutos compuesto por caminata lenta y estiramientos musculares suaves. Cada sesión de entrenamiento tuvo una duración de una hora y fue completamente supervisada por los investigadores. Cada participante tenía colocado un monitor de frecuencia cardíaca durante el entrenamiento aeróbico para mantener la intensidad de entrenamiento correcta.

Análisis estadísticos

Todos los valores se presentaron como Media \pm SD. Para evaluar si se producían cambios en las variables medidas dentro de los grupos utilizó el Test t de Student de muestras pareadas. Para evaluar los efectos del entrenamiento físico, se utilizó el Test t de Student de muestras no apareadas, con el fin de comparar los datos obtenidos al inicio así como también los cambios en las variables medidas después de las intervenciones entre los grupos. Se aplicó la correlación de Pearson para analizar los cambios en las concentraciones sanguíneas de glucosa y de insulina, HbA_{1c}, adiposidad corporal, WHR, fuerza de los músculos de las piernas y capacidad de caminata. El nivel de alfa se fijó en 0,05. Todos los análisis fueron realizados con el software SPSS Versión 11,5 para Windows (SPSS Inc. EE.UU.).

RESULTADOS

Los resultados se basaron en las observaciones de 15 sujetos en el grupo de ejercicios y 10 sujetos en el grupo control que completaron el estudio. Cinco participantes (tres del grupo ejercicios y dos del grupo control) abandonaron estudio debido a razones personales. No se reportaron lesiones físicas relacionadas a las sesiones de entrenamiento o a las evaluaciones, ni entre quienes abandonaron el estudio ni en entre quienes lo realizaron completamente. La agrupación aleatoria no produjo diferencias significativas en las variables determinadas al inicio del estudio entre los grupos (Tabla 1 y Tabla 2).

Variables	Ejercicio (n=15)	Control (n=10)
Sexo (M/F)	8/10	5/6
Edad (años)	65,9 (4,2)	64,8 (6,8)
Diagnóstico de diabetes (años)	16,7 (6,7)	15,4 (7,3)

Tabla 1. Características obtenidas al inicio del estudio en los grupos ejercicio y control. Todos los datos se presentan en forma de Media (\pm SD).

Variable	Ejercicio (n=15)			Control (n=10)		
	Pre-test	Post-test	Cambio	Pre-test	Post-test	Cambio
Masa corporal (kg)	66,9 (8,5)	67,1 (9,1)	0,2 (2,1)	68,4 (10,2)	68,1 (9,0)	-0,3 (2,3)
BMI (kg·m ⁻²)	25,2 (2,5)	25,3 (2,7)	0,08 (0,81)	25,8 (2,5)	25,8 (2,0)	-0,10 (0,87)
Adiposidad corporal (%)	24,1 (6,6)	22,7 (6,5)	-1,3 (2,9)*	24,7 (5,6)	25,7 (5,7)†	1,0 (1,0)
Índice Cintura-Cadera	0,93 (0,04)	0,88 (0,04)††	-0,04 (0,05)*	0,90 (0,05)	0,92 (0,07)	0,02 (0,04)
Presión sanguínea sistólica (mmHg)	139 (17)	130 (19)†	-9 (14)	135 (15)	137 (18)	2 (18)
Presión sanguínea diastólica	74 (7)	73 (10)	-1 (9)	73 (9)	77 (5)	4 (7)
VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	41,3 (8,9)	44,4 (6,3)	3,1 (8,9)	37,3 (6,8)	37,6 (6,8)	0,3 (2,7)
Glucosa Plasmática (mmol·L ⁻¹)						
Ayunas	6,86 (1,40)	6,19 (1,47)†	-0,66 (1,11)**	6,24 (1,66)	6,69 (1,73)†	0,45 (0,62)
Luego de 2hs de la administración de glucosa oral	13,9 (5,8)	9,83 (4,33)††	-4,03 (3,65)*	11,11 (5,26)	10,58 (4,41)	-0,53 (3,19)
Insulina sérica (μU·ml ⁻¹)						
Ayunas	9,62 (3,23)	7,37 (2,65)†	-2,25 (3,11)	11,68 (4,30)	11,22 (4,79)	-0,46 (1,13)
Luego de 2hs de la administración de glucosa oral	41,5 (18,5)	28,3 (11,2)††	-13,3 (11,4)**	49,0 (25,6)	50,0 (26,0)	1,0 (.8)
HbA _{1c} (%)	6,69 (1,08)	6,14 (0,71)††	-0,55 (0,58)*	5,92 (0,81)	5,98 (0,63)	0,06 (0,46)
Colesterol Total (mmol·L ⁻¹)	5,47 (1,27)	4,47 (1,08)††	-0,99 (0,95)**	5,05 (0,89)	5,41 (0,96)	0,36 (0,54)
Triglicéridos (mmol·L ⁻¹)	1,85 (0,97)	1,45 (0,54)	-0,40 (0,96)*	1,79 (1,07)	2,22 (1,21)	0,43 (0,75)
HDL-C (mmol·L ⁻¹)	0,94 (0,18)	0,85 (0,22)	-0,09 (1,91)	0,94 (0,35)	0,88 (0,26)	-0,06 (0,26)
LDL-C (mmol·L ⁻¹)	4,17 (1,15)	3,33 (1,03)††	-0,82 (0,89)**	3,75 (0,90)	4,08 (0,74)	0,34 (0,70)
Torque Máximo en flexión plantar isocinética						
A 30 grados·s ⁻¹ (Nm)	31,5 (18,5)	44,3 (20,2)†	12,7 (9,6)**	24,6 (14,7)	26,9 (13,1)	2,3 (6,4)
A 60 grados·s ⁻¹ (Nm)	15,3 (8,2)	25,2 (15,4)†	10,4 (16,3)	13,7 (11,6)	16,2 (11,3)	2,5 ± 8,0
Torque Máximo en flexión dorsal isocinética						
A 30 grados·s ⁻¹ (Nm)	14,5 (5,5)	17,9 (4,5)††	3,5 (5,3)	10,6 (5,7)	11,5 (5,5)	0,9 (4,3)
A 60 grados·s ⁻¹ (Nm)	9,6 (3,5)	12,0 (4,6)†	2,6 (3,9)	8,6 (2,8)	10,9 (5,9)	2,3 (5,7)
Caminata de seis minutos (m)	538 (56)	596 (52)††	58 (39)**	523 (50)	513 (54)	-11 (30)

Tabla 2. Variaciones de las variables medidas antes y después de los seis meses de intervención. Los datos se expresan en forma de Media (±SD). BMI= Índice de masa corporal.; VO_{2max}= Consumo de oxígeno máximo; HbA_{1c} = Hemoglobina glicosilada; HDL-C= colesterol asociado a proteínas de alta densidad; LDL-C= colesterol asociado a proteínas de baja densidad.* p < 0,05; ** p < 0,01 para las comparaciones de los cambios entre los grupos. † p < 0,05; †† p < 0,01 para comparaciones pre y post-test dentro de los grupos.

No se observaron cambios en la masa corporal ni en el índice de masa corporal (BMI) en ambos grupos luego de las intervenciones de 6 meses. El entrenamiento físico disminuyó el WHR en el grupo que realizó ejercicios y el cambio en WHR fue significativamente diferente al del grupo control. Los cambios en la grasa corporal de los dos los grupos fueron significativamente diferentes; el grupo que realizó ejercicios disminuyó su nivel de grasa corporal, mientras el grupo control aumentó esta variable a lo largo de los seis meses. Los sujetos que realizaron ejercicios disminuyeron su presión

arterial sistólica después de entrenar, pero el cambio no fue diferente al del grupo control. No se observó ningún cambio en la presión arterial diastólica en ambos grupos. Los sujetos entrenados aumentaron su VO_{2max} en 11,5% al final del estudio, mientras que los sujetos del grupo control sólo presentaron una mejora del 1,0% en esta variable. Sin embargo, la diferencia entre estos cambios no fue estadísticamente significativa (Tabla 2).

Los sujetos del grupo que realizó ejercicios disminuyeron significativamente sus concentraciones glucosa plasmática en ayunas y la insulina sérica en ayunas después del entrenamiento. Por otra parte, el grupo control, presentó un incremento en la glucosa plasmática en ayunas durante el período experimental. Las cantidades variables de glucosa plasmática en ayunas fueron estadísticamente diferentes entre los dos grupos. En el test de tolerancia a la glucosa las concentraciones de glucosa plasmática y de insulina sérica a las dos horas después de la administración de glucosa por vía oral, disminuyeron significativamente en el grupo que realizó ejercicios luego de seis meses de entrenamiento. No se observó ningún cambio significativo en estas concentraciones en el grupo control. Los cambios en la insulina sérica luego de dos horas de administración de glucosa fueron significativamente diferentes entre los dos grupos. La HbA_{1c} disminuyó en el grupo que realizó ejercicios pero en el grupo control no se observó ningún cambio significativo en esta variable. El cambio en HbA_{1c} luego de las intervenciones fue notablemente diferente entre los dos grupos (Tabla 2).

El entrenamiento físico disminuyó las concentraciones de colesterol total, triglicéridos y LDL de los sujetos entrenados; el nivel de variación en estas variables fue significativamente diferente al de los sujetos control. La concentración de HDL no presentó cambios en ninguno de los grupos después del período experimental (Tabla 2). El programa de entrenamiento físico aumentó el torque máximo de flexión plantar isocinética y la flexión dorsal tanto en movimientos a 30°/s como en movimientos a 60°/s. Sin embargo, sólo el cambio en la flexión plantar a 30°/s fue significativamente diferente al del grupo control. La distancia de caminata en 6 minutos aumentó después del entrenamiento físico y el cambio fue significativamente diferente con el grupo control. La fuerza muscular y la distancia de caminata de 6 min no cambiaron significativamente en los sujetos del grupo control (Tabla 2).

Los análisis de correlación demostraron que el nivel de disminución de WHR estaba asociado con los cambios en la insulina sérica luego de dos horas del test de administración de glucosa ($r = 0,54$, $p < 0,05$), el colesterol total ($r = 0,59$, $p < 0,05$) y los triglicéridos ($r = 0,60$, $p < 0,05$). Todos los otros análisis de correlación no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$).

DISCUSION

El principal hallazgo del estudio presente fue que seis meses de entrenamiento aeróbico combinado con entrenamiento de la fuerza supervisados producían efectos terapéuticamente significativos en la composición corporal, control glucémico, perfil de lípidos, fuerza de los músculos de las piernas y capacidad de caminata en los pacientes de edad avanzada con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2. Los resultados apoyan la hipótesis de nuestro estudio.

Aunque la masa corporal y el índice de masa corporal (BMI) no cambiaron luego del entrenamiento físico, se observó una disminución significativa en WHR y en la grasa corporal en el grupo que realizó los ejercicios. Los participantes del grupo control experimentaron algunos aumentos en ambas variables después del período del estudio. El valor más bajo de WHR del grupo que realizó ejercicios luego del test podría indicar una disminución en la obesidad abdominal. La evidencia de la literatura demuestra que un mayor valor de WHR y la obesidad abdominal elevan el riesgo de padecer diabetes de tipo 2 y esta fuertemente asociado con futuros trastornos de la glucosa (Blaha et al., 2008), desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Cameron et al., 2009) y con una menor capacidad de ejercicio (Fang et al., 2005; Segerstrom et al., 2011) en los pacientes. Los resultados de nuestro estudio sugieren que el programa de entrenamiento físico actual puede ser un tratamiento eficaz para reducir la obesidad abdominal en los pacientes de edad avanzada con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2. Este hallazgo concuerda con los resultados de estudios anteriores realizados en personas con diabetes de tipo 2 de manifestación reciente (Cuff et al., 2003; Maiorana et al., 2002). Nosotros también observamos que la disminución en WHR se correlacionó positivamente con la mejora en el estado de resistencia a la insulina, así como las disminuciones en el perfil de lípidos plasmáticos de los participantes. La disminución de la grasa corporal sin alteración en la masa corporal de los sujetos entrenados sugiere que su masa corporal magra aumentó luego del entrenamiento. Esta sería una de las razones que condujeron al mejor control glucémico del grupo que realizó ejercicios, dado que el músculo esquelético representa la mayor masa de tejido sensible a la insulina (Maiorana et al., 2002).

Nosotros observamos un 11,5% de aumento en VO_{2max} en el grupo que realizó ejercicios que era muy similar con los resultados de otros estudios (Boule et al., 2003). Aunque no es estadísticamente significativo en el estudio presente, este resultado es prometedor, dado que los pacientes que padecen diabetes y tienen una capacidad de ejercicio máxima baja pueden tener una tasa de mortalidad más alta que los pacientes que son activos y están entrenados (Wei et al., 2000). Otro

estudio también informó que los aumentos en retinopatía diabética y excreción urinaria de albúmina estaban asociados con una disminución en VO_{2max} en las personas con diabetes de tipo 2 (Estacio et al., 1998). Por consiguiente, cualquier aumento en VO_{2max} sería un cambio favorable para dichos pacientes. Una posible explicación de la diferencia no significativa en VO_{2max} entre los grupos puede ser la intensidad del ejercicio moderada usada en el estudio presente. En una revisión se estableció que la intensidad del ejercicio más alta tiende a producir mayores mejoras de VO_{2max} en las personas con diabetes de tipo 2 (Boule et al., 2003).

La elevada presión arterial ha sido considerada como uno de los factores de riesgo importantes asociados con el desarrollo de diabetes de tipo 2 (Asociación Americana de la Diabetes, 2010). Los sujetos entrenados del estudio presente disminuyeron su presión arterial sistólica en 9 mmHg, mientras que los sujetos del grupo control aumentaron esta variable en 2 mmHg luego de las intervenciones. Sin embargo, los cambios en esta variable no fueron significativamente diferentes entre los grupos. La disminución en la presión arterial sistólica después del entrenamiento físico coincide con los resultados de otros estudios en pacientes con diabetes de tipo 2 (Christos et al., 2009; Jorge et al., 2011; Wagner et al., 2006).

La medición de HbA_{1c} puede representar el promedio del control glucémico a lo largo de las seis a ocho semanas anteriores (Kilpatrick, 2008). Esta variable de largo plazo experimentó una disminución significativa en el grupo que realizó ejercicios en el estudio presente. Muchos estudios que utilizaron combinación entre entrenamiento aeróbico y entrenamiento de la fuerza en participantes con diabetes de tipo 2, también informaron el mismo resultado (Church., 2010; Larose et al., 2010; Maiorana et al., 2002; Sigal et al., 2007). Sin embargo, dos estudios realizados en pacientes de edad avanzada (promedio 63,4 años y 69,3 años) con diabetes de tipo 2, no observaron ningún cambio en HbA_{1c} después de 16 semanas de entrenamiento aeróbico combinado con entrenamiento de la fuerza (Cuff., 2003; Tessier et al., 2000). El complejo fisiológico de HbA_{1c} y los tamaños de muestra pequeños en estos estudios previos y las diferencias en los protocolos de entrenamiento físico podrían explicar las diferencias en los resultados de HbA_{1c} entre nuestro estudio y las investigaciones previas. Nuestros resultados sugieren que el entrenamiento físico puede mejorar HbA_{1c} en los pacientes de edad avanzada con un historial de larga duración de diabetes de tipo 2.

En este estudio las concentraciones de glucosa en reposo y luego de 2 horas post administración de glucosa oral también disminuyeron en el grupo que realizó ejercicios. Es importante señalar que las disminuciones en las concentraciones de glucosa e insulina luego de 2 horas de la administración de glucosa, también se correlacionaron con la sensibilidad a la insulina. La mejora del transporte de glucosa estimulada por la insulina en el músculo esquelético probablemente sería uno de los mecanismos para explicar este resultado (Henriksen, 2002). Una mejor acción de la insulina también se ha observado en las personas con diabetes de tipo 2 y las personas con sobrepeso sedentarias luego de cuatro a ocho meses de entrenamiento físico (Slentz et al., 2009; Tokmakidis et al., 2004). Los resultados globales de HbA_{1c} , de glucosa e insulina sanguíneas de nuestro estudio sugieren que incluso los pacientes de edad avanzada con antecedentes de larga duración de diabetes de tipo 2 pueden mejorar su control glucémico después del entrenamiento físico. En un estudio poblacional epidemiológico, se observó dislipidemia en personas con diabetes de tipo 2 (Lorenzo et al., 2003). Los estudios previos han informado que el entrenamiento físico mejora el perfil lipídico de las personas con diabetes de tipo 2. Estos beneficios incluyen disminuciones en el colesterol total, triglicéridos y LDL y aumentos en HDL (Christos et al., 2009; Dunstan et al., 1997; Jorge et al., 2011; Lehmann et al., 1995; McAuley et al., 2002; Ronnema et al., 1988; Ruderman et al., 1979). La edad media de los sujetos de estos estudios se situaba en los cincuenta y cinco. Sólo dos de estos estudios fueron realizados con sujetos mayores (> 65 años), pero el resultado de los sujetos mayores no fue informado de manera separada por los autores (Lehmann et al., 1995; McAuley et al., 2002). En el estudio presente, nosotros encontramos disminuciones significativas en el colesterol total y LDL del grupo que realizó ejercicios, mientras que el grupo control presentó un aumento en ambas variables luego de la prueba. Nuestros resultados indican que los entrenamientos físicos combinados pueden mejorar el perfil de lípidos de pacientes de edad avanzada con diabetes de tipo 2 con un historial de larga duración. Los pacientes con diabetes de tipo 2 normalmente presentan una menor fuerza muscular (Anderson et al., 2004; Park et al., 2006) y una menor masa esquelética en las piernas en comparación con las personas no diabéticas (Tajiri et al., 2010). Este déficit en la función muscular puede producir resistencia a la insulina en estos pacientes (Maiorana et al., 2002; Tajiri et al., 2010). El programa de entrenamiento físico del estudio presente ayudó a mejorar la fuerza muscular de los pacientes de edad avanzada. Este resultado coincide con los estudios previos de pacientes con diabetes de tipo 2 (Christos et al., 2009; Larose et al., 2010), aunque los sujetos de estos estudios eran más jóvenes que los sujetos que participaron en nuestro estudio.

La encuesta de salud Short Form-36 (SF-36) es una valoración auto administrada del estado de salud que normalmente se utiliza para medir la calidad de vida. Las personas con diabetes de tipo 2 han presentado resultados muy pobres en las puntuaciones del componente físico del SF-36 (Reid et al., 2010). Esta puntuación se obtiene principalmente por la capacidad de caminata de las personas. Es muy posible que la mayor capacidad de caminata de los sujetos del estudio presente mejore notablemente su calidad de vida. Esta opinión coincide con lo observado en otro estudio en pacientes de edad avanzada con diabetes de tipo 2 ($69,3 \pm 4,2$ años de edad) en los que 16 semanas de entrenamiento físico combinado

umentaron la capacidad de caminata y las puntuaciones de actitud de calidad de vida (Tessier et al., 2000). Además, esta mejora en la capacidad de caminata también puede ser asociada con una menor incidencia mortalidad por todas las causas y por enfermedad cardiovascular (Gregg et al., 2003).

La limitación del estudio presente fue que sólo se aplicó un programa de entrenamiento físico. Por consiguiente, nosotros no podríamos comparar nuestros resultados con los obtenidos a partir de otros tipos de entrenamiento ni podríamos analizar la relación dosis respuesta entre la cantidad de entrenamiento físico y los beneficios para la salud para dichos pacientes. Los resultados presentes sólo indican que este programa de entrenamiento físico puede ayudar a las personas de edad avanzada que tienen un historial de larga duración de diabetes de tipo 2.

CONCLUSION

Los resultados del estudio presente demostraron que los sujetos entrenados lograron mejoras significativas en la composición corporal, el control de la glucemia, el perfil de lípidos y la capacidad funcional luego de realizar un programa de 6 meses de entrenamiento aeróbico combinado con entrenamiento de la fuerza. Estos resultados demuestran que incluso los pacientes de edad avanzada con un historial de larga duración de diabetes de tipo 2 pueden obtener beneficios de a combinación entre entrenamiento aeróbico y entrenamiento de la fuerza.

Agradecimientos

Este estudio fue subsidiado por el programa de Subsidios de Ciencia y Tecnología Nacional China (2012BAK21B03). Los autores declararon que no poseen ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. Albright, A., Franz, M., Hornsby, G., Kriska, A., Marrero, D., Ullrich, I., and Verity, L.S (2000). Exercise and type 2 diabetes. *Medicine and Science in Sports Exercise* 32, 1345-1360
2. American Diabetes Association (2010). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care* 33(Suppl), S62-S69
3. Anderson, H., Nielsen, S., Mogensen, C.E. and Jakobsen, J (2004). Muscle strength in type 2 diabetes. *Diabetes* 53, 1543-1548
4. Belli, T., Ribeiro, L.F., Ackermann, M.A., Baldissera, V., Gobatto, C.A. and da Silva, R.G (2011). Effects of 12-week overground walking training at ventilator threshold velocity in type 2 diabetes women. *Diabetes Research and Clinical Practice* 93(3), 337-343
5. Blaha, M.J., Gebretsadik, T., Shintani, A. and Elasy, T.A (2008). Waist circumference, not the metabolic syndrome, predicts glucose deterioration in type 2 diabetes. *Obesity* 16, 869-874
6. Boule, N., Kenny, G., Haddad, E., Wells, G. and Sigal, R (2003). Meta-analysis of the effect of structured exercise training on cardio-respiratory fitness in type 2 diabetes mellitus. *Diabetologia* 46, 1071-1081
7. Brooks, N., Layne, J.E., Gordon, P.L., Roubenoff, R., Nelson, M.E. and Castaneda-Sceppa, C (2007). Strength training improves muscle quality and insulin sensitivity in Hispanic older adults with type 2 diabetes. *International Journal of Medical Science* 4, 19-27
8. Cameron, A.J., Dunstan, D.W., Owen, N., Zimmet, P.Z., Barr, E.L.M., Tonkin, A.M., Magliano, D.J., Murray, S.G., Welborn, T.A. and Shaw, J.E (2009). Health and mortality consequences of abdominal obesity: evidence from the AusDiab study. *Medical*
9. Cauza, E., Hanusch-Enserer, U., Strasser, B., Ludvik, B., Metz-Schimmerl, S., Pacini, G., Wagner, O., Georg, P., Prager, R., Kostner, K., Dunky, A. and Haber, P (2005). The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 86, 1527-1533
10. Christos, Z.E., Tokmakidis, S.P., Volaklis, K.A., Kotsa, K., Touvra, A.M., Douda, E. and Yovos, I.G (2009). Lipoprotein profile, glycemic control and physical fitness after strength and aerobic training in post-menopausal women with type 2 diabetes. *European Journal of Applied Physiology* 106, 901-907
11. Church, T.S., Blair, S.N., Cocroham, S., Johannsen, N., Kramer, K., Mikus, C.R., Myers, V., Nauta, M., Rodarte, R.Q., Sparks, L., Thompson, A. and Earnest, C.P (2010). Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Journal of American Medical Association* 304, 2253-2262
12. Cuff, D.J., Ignaszewski, A., Meneilly, G.S., Tildesley, H.D., Martin, A. and Frohlich, J.J (2003). Effective exercise modality to reduce insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Diabetes care* 26, 2977-2982
13. Dunstan, D.W., Burke, V., Mori, T.A., Morton, A.R., Puddey, L.B., Stanton, K.G. and Beilin, L.J (1997). The independent and combined effects of aerobic exercise and dietary fish intake on serum lipids and glycemic control in NIDDM. *Diabetes Care* 20, 913-921
14. Estacio, R.O., Jeffers, B., Regensteiner, J.G., Dickenson, M., Wolfel, E.E. and Schrier, R.W (1998). The association between diabetic

- complications and exercise capacity in NIDDM patients. *Diabetes Care* 21, 291-295
15. Fang, Z.Y., Prins, J.B., Sharman, J. and Marwick, T.H (1995). Determinants of exercise capacity in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 28, 1643-1648
 16. Friedewald, W.T., Levy, R.I. and Fredrickson, D.S (1972). Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical Chemistry* 18, 499-502
 17. Gill, J.M.R. and Cooper, A.R (2008). Physical activity and prevention of type 2 diabetes mellitus. *Sports Medicine* 38, 807-824
 18. Gregg, E.W., Gerzoff, R.B., Caspersen, C.J., Williamson, D.F. and Venkat Narayan, K.M (2003). Relationship of walking to mortality among US adults with diabetes. *Archives of Internal Medicine* 163, 1440-1447
 19. Henriksen, E.J (2002). Exercise effects of muscle insulin signaling and action. Invited review: Effects of acute exercise and exercise training on insulin resistance. *Journal of Applied Physiology* 93, 788-796
 20. Holten, M.K., Zacho, M., Gaster, M., Juel, C., Wojtaszenwski, J.F.P. and Dela, F (2004). Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. *Diabetes* 53, 294-305
 21. Ivy, J.L (1997). Role of exercise training in the prevention and treatment of insulin resistance and non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Sports Medicine* 24, 321-336
 22. Jorge, M.L.M.P., de Oliveira, V.N., Resende, N.M., Paraiso, L.F., Calixto, A., Diniz, A.L.D., Resende, E.S., Ropelle, E.R., Carvalho, J.B., Espindola, F.S., Jorge, P.T. and Geloneze, B (2011). The effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic control, inflammatory markers, adipocytokines, and muscle insulin signaling in patients with type 2 diabetes mellitus. *Metabolism* 60, 1244-1252
 23. Kilpatrick, E.S (2008). Haemoglobin A1c in the diagnosis and monitoring of diabetes mellitus. *Journal of Clinical Pathology* 61, 977-982
 24. Larose, J., Sigal, R.J., Boule, N.G., Wells, G.A., Prud'Homme, D., Fortier, M.S., Reid, R.D., Tulloch, H., Coyle, D., Phillips, P., Jennings, A., Khandwala, F. and Kenny, G.P (2010). Effect of exercise training on physical fitness in type II diabetes mellitus. *Medicine and Science in Sports Exercise* 42, 1439-1447
 25. Lehmann, R., Vokac, A., Niedermann, K., Agosti, K. and Spinass, G.A (1995). Loss of abdominal fat and improvement of the cardiovascular risk profile by regular moderate exercise training in patients with NIDDM. *Diabetologia* 38, 1313-1319
 26. Loimaala, A., Groundstroem, K., Rinne, M., Nenonen, A., Huhtala, H., Parkkari, J. and Vuori, I (2009). Effect of long-term endurance and strength training on metabolic control and arterial elasticity in patients with type 2 diabetes mellitus. *American Journal of Cardiology* 103, 972-977
 27. Lorenzo, C., Stern, M.P., Okokoise, M., Haffner, S.M. and Williams, K (2003). The metabolic syndrome as predictor of type 2 diabetes: The San Antonio Heart Study. *Diabetes Care* 26, 3153-3159
 28. Maiorana, A., O'Driscoll, G., Goodman, C., Taylor, G. and Green, D (2002). Combined aerobic and resistance exercise improves glycemic control and fitness in type 2 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice* 56, 115-123
 29. Marwick, T.H., Hordern, M.D., Miller, T., Chyun, D.A., Berton, A.G., Blumenthal, R.S., Philippides, G. and Rocchini, A (1999). Exercise training for type 2 diabetes mellitus: Impact on cardiovascular risk. A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 119, 3244-3262
 30. McAuley, K., Wilson, N., Williams, S., Story, G., Mann, J., McLay, R., Goulding, A., Harper, M.J., Chisholm, A. and Jones, I.E (2002). Intensive lifestyle changes are necessary to improve insulin sensitivity: a randomized controlled trial. *Diabetes Care* 25, 445-452
 31. Park, S.W., Goodpaster, B.H., Strotmeyer, E.S., de Rekeneire, N., Harris, T.B., Schwartz, A.V., Tylavsky, F.A. and Newman, A.B (2006). Decreased muscle strength and quality in older adults with type 2 diabetes: The health, aging, and body composition study. *Diabetes* 55, 1813-1818
 32. Praet, S.F.E. and van Loon, L.J.C (2009). Exercise therapy in type 2 diabetes. *Acta Diabetologica* 46, 263-278
 33. Reid, R., Tulloch, H., Sigal, R., Kenny, G., Fortier, M., McDonnell, L., Wells, G.A., Boule, N.G., Phillips, P. and Coyle, D (2010). Effects of aerobic exercise, resistance exercise or both, on patient-reported health status and well-being in type 2 diabetes mellitus: a randomized trial. *Diabetologia* 53, 632-640
 34. Ronnema, T., Marniemi, J., Puukka, P. and Kuusi, T (1988). Effects of long-term physical exercise on serum lipids, lipoproteins and lipid metabolizing enzymes in type 2 (non-insulin-dependent) diabetic patients. *Diabetes Research* 7, 79-84
 35. Ruderman, N.B., Ganda, O.P. and Johansen, K (1979). The effect of physical training on glucose tolerance and plasma lipids in maturity-onset diabetes. *Diabetes* 28, 89-92
 36. Segerstrom, A.B., Elgzyri, T., Eriksson, K.F., Groop, L., Thorsson, O. and Wollmer, P (2011). Exercise capacity in relation to body fat distribution and muscle fibre distribution in elderly male subjects with impaired glucose tolerance, type 2 diabetes and matched controls. *Diabetes Research and Clinical Practice* doi:10.1016/j.diabetes.2011.05.022
 37. Sigal, R., Kenny, G., Boule, N., Wells, G., Prud'homme, D., Fortier, M., Reid, R.D., Tulloch, H., Coyle, D., Phillips, P., Jennings, A. and Jaffey, J (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes. *Annals of Internal Medicine* 147, 357-369
 38. Slentz, C.A., Huffman, K.M., Tanner, C.J., Houmard, J.A., Bateman, L.A., Kraus, W.E. and Durheim, M.T (2009). Effects of exercise training intensity on pancreatic beta-cell function. *Diabetes Care* 32, 1807-1811
 39. Snowling, N.J. and Hopkins, W.G (2006). Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetes patients. *Diabetes Care* 29, 2518-2527
 40. Tajiri, Y., Kato, T., Nakayama, H. and Yamada, K (2010). Reduction of skeletal muscle, especially in lower limbs, in Japanese type 2 diabetes patients with insulin resistance and cardiovascular risk factors. *Metabolic Syndrome and Related Disorders* 8, 137-142
 41. Taylor, J.D., Fletcher, J.P. and Tiarks, J (2009). Impact of physical therapist-directed exercise counseling combined with fitness center-based exercise on muscular strength and exercise capacity in people with type 2 diabetes: A randomized clinical trial. *Physical Therapy* 89, 884-892

42. Tessier, D., Menard, J., Fulop, T., Ardilouze, J.L., Roy, M.A., Dubuc, N., Dubois, M.F. and Gauthier, P (2000). Effects of aerobic physical exercise in the elderly with type 2 diabetes mellitus. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 21, 121-132
43. Tokmakidis, S.P., Zois, C.E., Volaklis, K.A., Kotsa, K. and Touvra, A.M (2004). The effects of a combined strength and aerobic exercise program on glucose control and insulin action in women with type 2 diabetes. *European Journal of Applied Physiology* 92, 437-442
44. Wagner, H., Kuhl, J., Degerblad, M., Brismar, T.B., Thorell, A., Ohrvik, Tan et al. J., Nygren, J., Efendic, S., Stahle, A. and Bavenholm, P.N (2006). Combined treatment with exercise training and acarbose improves metabolic control and cardiovascular risk factor profile in subjects with mild type 2 diabetes. *Diabetes Care* 29, 1471-1477

Cita Original

Sijie Tan, Wei Li and Jianxiong Wang. Effects of six months of combined aerobic and resistance training for elderly patients with a long history of type 2 diabetes. *Journal of Sports Science and Medicine* (2012) 11, 495-501