Research

Cambios en la Composición Corporal Regional en Mujeres Luego de 6 Meses de Entrenamiento Físico Periodizado

William J Kraemer[3], Bradley C Nindl[1,2], Lincoln A Gotshalk[1], Everett A Harman[2], James O Marx[1], Peter N Frykman[2], Eric Lammi[2] y Chris Palmer[2]

[1]*Laboratory for Sports Medicine, Intercollege Program in Physiology, Department of Kinesiology. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802.*
[2]*Military Performance Division, United States Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, Massachusetts 01760.*
[3]*Human Performance Laboratory, Ball State University, Muncie, Indiana 47306.*

RESUMEN

Hay una escasez de datos con respecto a los cambios morfológicos producidos en mujeres luego de la realización de un entrenamiento físico prolongado. En este estudio se utilizó absorciometría dual de rayos X para valorar los cambios corporales regionales (i.e., tronco, piernas, brazos) y totales en la masa grasa, masa magra, y en la composición del contenido mineral óseo en 31 mujeres saludables antes, durante y después de 6 meses de entrenamiento físico periodizado. Estos resultados fueron comparados con los de (1) un grupo control compuesto por mujeres que no participaron en el programa de entrenamiento y fueron evaluadas antes y después de los 6 meses, y (2) un grupo de 18 hombres que fueron evaluados solo una vez. Además, se utilizó resonancia magnética nuclear para valorar los cambios en la morfología muscular en una submuestra compuesta por 11 miembros del grupo que realizó el entrenamiento. El programa de entrenamiento físico consistió de una combinación de entrenamientos aeróbicos y de sobrecarga, en el cual los sujetos se ejercitaron 5 días/semana durante 24 semanas. En forma global, el grupo que realizó el entrenamiento experimentó una reducción del 2.2 % en la masa corporal, un 10 % de reducción en la masa grasa y un incremento del 2.2 % en la masa de tejido magro. No se detectaron cambios en el contenido mineral óseo. Las mujeres tuvieron una menor proporción de su masa de tejido blando magro distribuida en sus brazos en comparación con los hombres, tanto antes como después de que participaran en el programa de entrenamiento. Algo novedoso en este estudio fueron las impactantes diferencias observadas en los cambios de la composición de los tejidos de los brazos (reducción del 31 % de la masa grasa, pero sin cambios en la masa magra) en comparación con las piernas (incremento del 5.5 % en la masa magra, pero sin cambios en la masa grasa). Hubo una reducción del 12 % en la masa grasa del tronco, pero no se detectaron cambios en la masa de tejido blando magro. Las mediciones de la masa grasa realizadas con absorciometría dual de rayos X y con resonancia magnética mostraron una buena correlación (r=0.72-0.92); asimismo las mediciones de la masa magra llevadas a cabo con estas técnicas fueron similares, mostrando un incremento del 5.5 % en la masa magra de las piernas. Estos hallazgos muestran la importancia de considerar los cambios regionales en la composición corporal, más que los cambios en la composición corporal total cuando se evalúan los efectos de un programa de entrenamiento periodizado.

Palabras Clave: absorciometría dual por rayos X, imágenes por resonancia magnética, entrenamiento de sobrecarga, gra

INTRODUCCION

En comparación con los hombres, los datos disponibles sobre los cambios fisiológicos en mujeres luego de un entrenamiento de la fuerza prolongado y periodizado (i.e., dos meses) son escasos (25, 27). Aunque investigaciones previas han demostrado que el entrenamiento de la fuerza en mujeres puede provocar el aumento de la fuerza, del rendimiento físico, de la masa libre de grasa e hipertrofiar las fibras musculares (3, 4, 8, 26), es poca la información disponible acerca de los cambios regionales (i.e., tren superior vs. tren inferior) en la composición de los tejidos blandos (i.e., masa magra y grasa). En general se ha considerado que para que las mujeres exhibieran hipertrofia muscular, se requerían mayores períodos de adaptación (i.e., 2 meses) en comparación con los hombres. El advenimiento de técnicas sofisticadas de medición para valorar la composición segmental de diversos tejidos [i.e., absorciometría dual de rayos X (DEXA) y las imágenes tomadas por resonancia magnética nuclear (MRI)] permiten ahora una medición más precisa de los cambios longitudinales en la morfología de las extremidades (2, 6, 12, 22). Nindl et al. (14, 15) reportaron cambios regionales longitudinales, valorados mediante DEXA, en la masa grasa (i.e., brazos, tronco y piernas) en hombres jóvenes luego de un entrenamiento militar intensivo (i.e., el entrenamiento de los *Rangers* del Ejercito de los EE.UU.). Sin embargo, hay una escasez de datos acerca de los cambios longitudinales, tanto de la masa grasa como de la masa magra valoradas ya sea por DEXA o por MRI. En un estudio reciente Chilibeck et al. (4) utilizaron DEXA para detectar si había habido hipertrofia en los brazos, tronco y piernas en mujeres que siguieron un programa de entrenamiento de la fuerza de 10 semanas de duración. Sus datos mostraron que la hipertrofia de las piernas y del tronco se produjo en un menor grado que la hipertrofia de los brazos. Sin embargo, en este estudio no se reportaron los cambios regionales en la masa grasa. El entendimiento de cómo la masa grasa regional es alterada con el entrenamiento también podría ser importante, debido a que la ubicación de los depósitos de grasa está más relacionada con los riesgos de enfermedades cardiovasculares en comparación con la masa grasa total (18).

Se sabe que los programas de entrenamiento físico que incluyen, tanto formas de ejercicio aeróbico como de sobrecarga provocan alteraciones en la masa magra y en la masa grasa corporal total. El incremento en la masa magra y la reducción de la masa grasa son adaptaciones favorables que corresponden a una mejora en la salud y en la aptitud física. Menos se sabe acerca de las variaciones regionales de la composición corporal en respuesta al entrenamiento. Se sabe que en las mujeres hay diferencias regionales en la actividad lipolítica (i.e., la respuesta lipolítica al ejercicio es más pronunciada en la región abdominal que en el tejido periférico) (9, 21). Hasta el momento no se sabe si las mujeres también exhiben algún grado de heterogeneidad con respecto a las respuestas del tejido muscular regional al entrenamiento. Se ha reportado que los hombres tienen una mayor proporción de su masa muscular distribuida en el tren superior en comparación con las mujeres, lo cual ha sido propuesto como una explicación parcial a las diferencias en la fuerza observadas entre los sexos. Por ejemplo, Miller et al. (13) reportaron que las áreas de sección transversal (CSA) de los músculos bíceps braquial, flexores del codo, vasto lateral y extensores de la rodilla en mujeres eran 55, 59, 70 y 75 %, respectivamente, de las observadas en los hombres. En vista de lo observado en este estudio y de los hallazgos de Chilibeck et al. (4), quienes observaron que en las mujeres se producía una mayor hipertrofia en los brazos que en las piernas y el tronco, se podría hipotetizar que con el entrenamiento de la fuerza, las mujeres podrían ver alterada su distribución relativa de masa muscular de manera que halla una mayor proporción en el tren superior. Hasta la fecha, ningún estudio ha reportado adaptaciones concurrentes en brazos, tronco y piernas con respecto a los cambios en la masa grasa y en la masa magra. Por lo tanto el propósito principal de este estudio fue comparar las adaptaciones relativas en las masas grasa y magra de los brazos, piernas y tronco en mujeres, en respuesta a 24 semanas de entrenamiento físico periodizado. Los objetivos secundarios fueron comparar las estimaciones de la composición de los tejidos de las piernas realizadas con DEXA con las estimaciones del tejido del muslo realizadas con MRI en estas mujeres y comparar la proporción relativa de tejido blando graso y magro en los brazos, piernas y tronco de las mujeres entrenadas con la de un grupo de hombres que no estuvieron involucrados en el programa de entrenamiento experimental.

METODOS

Sujetos

Tres grupos de sujetos participaron en este estudio. (1) treinta y un mujeres (28±4 años, 68±12 kg, 164±6 cm) fueron reclutadas a través de publicidades realizadas en periódicos y emisoras de televisión locales (en los suburbios del oeste de Boston). Luego de una breve charla de información que cubría todos los aspectos de la metodología del estudio y de los requerimientos de tiempo, se les pidió a los sujetos que leyeran y firmaran un formulario de de consentimiento informado. Este estudio fue aprobado por el Comité para la Utilización de Sujetos Humanos del Instituto de Investigación de Medicina Ambiental del Ejército de los EE.UU. (Natick, MA) y por el Comité para la Investigación con Sujetos Humanos del Comando

de Investigación y Material Médico, el cual está subordinado a la oficina del Jefatura General de Cirujanos del Ejército. Todos los sujetos realizaron un examen médico general llevado a cabo por un médico para asegurar que estaban libres de problemas endócrinos, ortopédicos o cualquier otro tipo de desorden que pudiera contraindicar la realización de un programa de entrenamiento para todo el cuerpo, todos los sujetos exhibieron un test de embarazo negativo. (2) Cinco mujeres, cuyas características físicas no difirieran de aquellas observadas en las mujeres que participaron en el grupo experimental, fueron reclutadas aleatoriamente, y separadas del grupo experimental, para servir de grupo control, el cual no realizó ejercicios. Se requirió que estos sujetos mantuvieran sus hábitos alimenticios diarios normales y sus niveles normales de actividad física durante los 6 meses que duraría el estudio. (3) Un grupo de 18 hombres (27±6 años, 82±14 kg, 179±8 cm) sirvieron como grupo control estático de comparación.

DEXA

Las estimaciones corporales totales del porcentaje de grasa, densidad mineral ósea, y, del contendido óseo corporal, grasa y tejido magro no óseo, fueron determinadas utilizando algoritmos suministrados por el fabricante (Total Body Analysis, version 3.6, Lunar, Madison, WI). La precisión de estas mediciones es mayor al 60.5% para la grasa corporal. Para este procedimiento, los sujetos se vistieron con pantalones cortos y remera y se colocaron boca arriba sobre la mesa del *scanner* del dispositivo de DEXA. El cuerpo fue cuidadosamente colocado de manera que quedara centrado lateralmente sobre la mesa con las palmas de las manos hacia abajo. Se utilizaron correas de velcro para mantener juntas las rodillas y apoyos para los pies de manera que quedaran inclinados a 45º desde la vertical. El registro de imágenes se realizó en secciones de 1 cm desde la cabeza a los dedos de los pies utilizando una velocidad de registro de 20 minutos. Las mediciones regionales (brazo, pierna y tronco) fueron determinadas en base a marcas óseas mediante análisis manual. Los límites verticales separaron los brazos del cuerpo a la altura del hombro, y los límites angulares separaron las piernas del tronco (Figura 1). La precisión de las mediciones en estas tres regiones fue de 1.5, 0.8 y 1.1% para los brazos, piernas y tronco, respectivamente (15). Las mediciones realizadas con DEXA fueron obtenidas antes y al comienzo del estudio (pre), luego de 14 semanas de entrenamiento (mitad) y al final de las 24 semanas de entrenamiento (post).

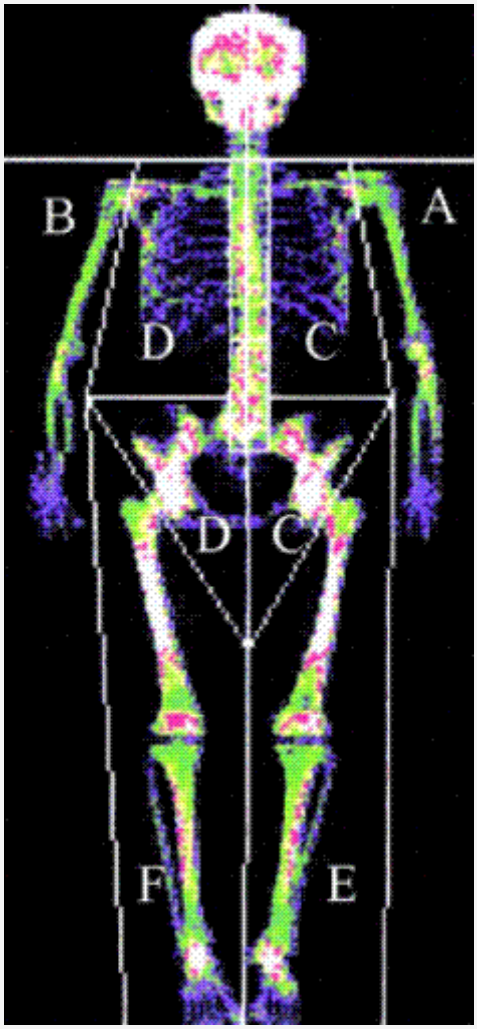

Figura 1. *Imagen de una absorciometría dual de rayos X que ilustra los puntos de corte para las regiones del brazo, tronco y pierna. A y B, brazos; C y D, tronco; E y F, piernas.*

MRI

Para comparar los cambios regionales en la pierna/muslo detectados con DEXA y con MRI, se tomaron imágenes del área de sección transversal del muslo medio con MRI a una submuestra de 11 mujeres elegidas aleatoriamente, lo cual fue llevado a cabo en las instalaciones de MRI del West Suburban Imaging en Wellesley; MA. Las CSA de la masa magra, que incluyen el tejido blando magro y la masa ósea, y la masa de tejido graso fueron medidas pre- y postentrenamiento mediante MRI utilizando un dispositivo 1.5-T Picker Vista MR y un programa MR6B. Las imágenes fueron obtenidas mediante la alteración del spin de red o por el tiempo de relajación longitudinal. La ponderación del tiempo de relajación longitudinal se llevó a cabo con un tiempo de repetición de 300 ms, un tiempo de eco de 17 ms, una frecuencia de radio a 90º, y una potencia de absorción de 0.028 W/kg. El análisis de las CSA fue realizado a partir de las imágenes obtenidas con la MRI y utilizando la técnica de gradiente de eco, la cual permite una mayor delineación y distinción de los músculos y ha demostrado ser más sensible que la tomografía computada para determinar cambios en el tamaño muscular. Se obtuvieron quince imágenes de secciones transaxiales de 1 cm equidistantes entre la base de la cabeza femoral y la parte media de la rótula. Para la investigación se utilizaron las extremidades dominantes de los sujetos. Para el muslo, se utilizó la sección 8 (siendo la sección 1 la base de la cabeza femoral). La CSA de los tejidos fue obtenida exhibiendo las imágenes en un monitor Maxitron con un programa Adobe y utilizando el programa para el análisis de imágenes mediante el recuento de pixeles 1.55.20A del Instituto Nacional de Salud. Las CSA medidas, incluyeron la masa libre de grasa, la masa de tejido graso, tejido óseo, y los músculos recto femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medio, sartorio, porción corta del bíceps femoral, porción larga del bíceps femoral, semitendinoso, semimembranoso, gracialis y el grupo de los aductores (Figura 2). La CSA (medida en cm^2) fue determinada mediante el trazado del borde de cada músculo. Se realizaron

doscientos trazados iniciales con la mano dominante para establecer la validez de la investigación, de acuerdo con los métodos propuestos por Bloomstand et al. (1). El mismo investigador llevó a cabo todas las mediciones en todos los sujetos y demostró un coeficiente de confiabilidad test-retest interclase de 0.99.

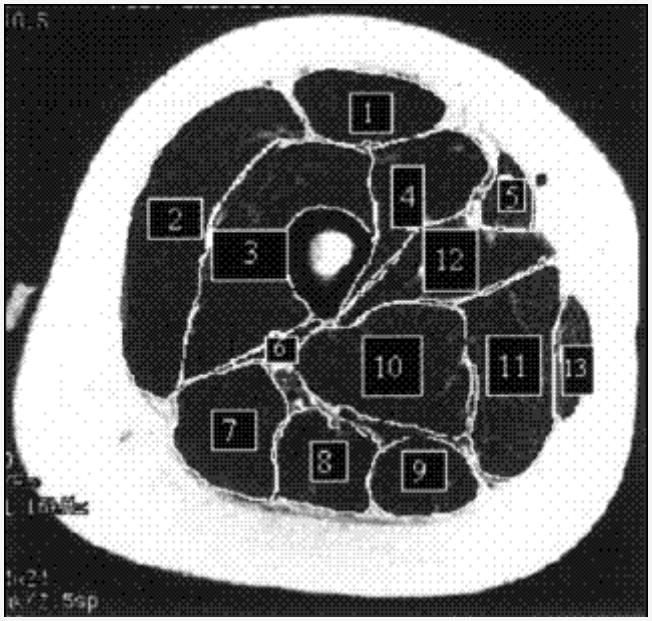

Figura 2. *Área de sección transversal del muslo determinada mediante imágenes de resonancia magnética. Los músculos individuales han sido remarcados para mostrar los límites utilizados en el análisis: 1, recto femoral,; 2, vasto lateral; 3, vasto intermedio; 4, vasto medio; 5, sartorio; 6, porción corta del bíceps femoral; 7, porción larga del bíceps femoral; 8, semimembranoso; 9, semitendinoso; 10, aductor mayor; 11, aductor largo; 12, aductor corto; 13, gracialis.*

Día	Ejercicio	Duración
Lunes	Levantamiento de pesas	50 min, 21 series
	Pausa	10 min
	Carreras	3.2 km, paso rápido
Martes	Levantamiento de pesas	50 min, 21 series
	Pausa	10 min
	Ejercicios varios	0-30 min
Miércoles	Back pack	8 km a un paso mínimo de 6.4 km/h (carga máxima 34 kg)
Jueves	Levantamiento de pesas	50 min, 21 series
	Pausa	10 min
	Ejercicios varios	0-30 min
Viernes	Levantamiento de pesas	50 min, 21 series
	Pausa	10 min
	Carreras	3.2 km, paso rápido

Tabla 1. *Programa inicial de entrenamiento.*

Programa de Entrenamiento Físico

El entrenamiento consistió de un programa periodizado de 24 semanas para el entrenamiento de la fuerza y la resistencia diseñado especialmente para mejorar el rendimiento de las mujeres en tareas ocupacionales específicas de la vida militar.

Los cambios en el rendimiento físico producidos en este estudio han sido reportados previamente (7). El entrenamiento se llevó a cabo con sesiones de 1.5 horas/día, 5 veces por semana. Todas las sesiones de entrenamiento fueron supervisadas directamente por personal entrenado, certificados como Especialistas en el Entrenamiento de la Fuerza y el Acondicionamiento por la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento (National Strength and Conditioning Association), quienes supervisaron el programa entero, monitorearon el progreso de los sujetos y modificaron las sesiones según la necesidad. El programa global inicial de entrenamiento semanal se muestra en la Tabla 1, y el segmento inicial de entrenamiento de la fuerza se muestra en la Tabla 2. Se puede observar que los sujetos no realizaron series consecutivas de un ejercicio. En cambio, realizaron ejercicios en grupos de dos o tres, rotando entre los ejercicios dentro del mismo grupo antes de pasar al siguiente grupo de ejercicios. Cada aproximadamente 2 minutos comenzaba una serie de ejercicios, lo cual incluía 30 s de ejercicio y 1.5 min de pausa. Debido a que los ejercicios eran realizados en grupo, solo se daba una pausa de 1.5 min entre series de ejercicios consecutivos, pero se daba una pausa de 3.5-5.5 min entre las series del mismo ejercicio.

Serie Nº	Lunes y Jueves	Martes y Viernes
	Ejercicio	Ejercicio
1	Sentadilla	Lanzamiento de balones medicinales bajo mano
2	Press de banca	Tirones con barra - agarre ancho
3	Sentadilla	Lanzamiento de balones medicinales bajo mano
4	Press de banca	Tirones con barra - agarre ancho
5	Sentadilla	Lanzamiento de balones medicinales bajo mano
6	Press de banca	Tirones con barra - agarre ancho
7	Sentadilla	Lanzamiento de balones medicinales bajo mano
8	Press de banca	Tirones con barra - agarre ancho
9	Sentadilla	Lanzamiento de balones medicinales bajo mano
10	Press de banca	Tirones con barra - agarre ancho
11	Sentadilla	Lanzamiento de balones medicinales bajo mano
12	Press de banca	Tirones con barra - agarre ancho
13	Hiperextensiones lumbares	Abdominales
14	Press con barra agarre medio	Flexiones de rodilla
15	Remo con los codos hacia arriba	Remo con los codos hacia abajo
16	Hiper extensiones lumbares	Abdominales
17	Press con barra agarre medio	Flexiones de rodilla
18	Remo con los codos hacia arriba	Remo con los codos hacia abajo
19	Hiper extensiones lumbares	Abdominales
20	Press con barra agarre medio	Flexiones de rodilla
21	Remo con los codos hacia arriba	Remo con los codos hacia abajo

Tabla 2. *Programa inicial para el entrenamiento de la fuerza.*

Región Corporal	Semana 0	Semana 14	Semana 24	Semanas 0-14	Semanas 14-24	Semanas 0-24
Todo el Cuerpo (kg)	66.5±11.8 *	65.9±11.1 *	64.8±10.9 †	-0.6±3.7 %	-1.5±2.4 %	-2.2±4.4 %
Lado Izquierdo (kg)	33.4±6.0 *	33.1±5.7 * †	32.5±5.4 †	-0.8±4.5 %	-1.4±3.2 %	-2.2±5.6 %
Lado Derecho (kg)	33.1±5.8 *	32.8±5.5 * †	32.3±5.6 †	-0.4±3.9 %	-1.7±3.0 %	-2.1±4.7 %
Tronco (kg)	31.9±6.2 *	31.4±5.5 *	30.7±5.7 †	-1.1±5.0 %	-2.3±4.3 %	-3.4±5.8 %
Izquierda (kg)	16.1±3.3 *	15.9±2.9 * †	15.6±2.9 †	-0.8±6.1 %	-1.7±4.7 %	-2.5±7.2 %
Derecha (kg)	15.8±3.1 *	15.5±2.7 *	15.1±2.9 †	-1.2± 5.4 %	-2.9±5.5 %	-4.1±6.6 %
Piernas (kg)	22.3±4.2 *	23.0±4.2 †	23.1±4.1 †	3.2±5.3 %	0.7±3.9 %	3.8±5.7 %
Izquierda (kg)	11.1±2.2 *	11.4±2.1 †	11.5±2.1 †	3.2±6.3 %	0.3±3.8 %	3.4±6.1 %
Derecha (kg)	11.2±2.1 *	11.5±2.1 †	11.6±2.1 †	3.2±5.0 %	1.1±4.8 %	4.2±6.0 %
Brazos (kg)	8.1±1.9 *	7.4±1.7 †	7.0±1.4 ‡	-8.7±9.6 %	-3.7±10.3 %	-12.4±10.4 %
Izquierda (kg)	4.0±1.0 *	3.6±0.9 †	3.4±0.7 †	-9.8±10.9 %	-4.1±11.1 %	-13.8±12.2 %
Derecha (kg)	4.1±1.0 *	3.8±0.9 †	3.6±0.8 †	-7.0±11.7 %	-3.0±12.5 %	-10.6±11.0 %

Tabla 3. *Cambios en el contenido total de tejido blando valorados con absorciometría dual de rayos X a lo largo de un programa periodizado de entrenamiento físico de 6 meses de duración. Los valores son presentados como medias±DE. Los mimos símbolos de superíndices a través de los puntos del tiempo indican falta de significancia estadística (p=0.05) en la diferencia entre los valores medios de una variable.*

A lo largo de las 24 semanas de entrenamiento, se realizaron cambios mensuales a las rutinas de ejercicio utilizando un modelo periodizado. Al comienzo, los sujetos realizaron 10-12 repeticiones por serie de ejercicio. A medida que los sujetos aprendían las técnicas de los ejercicios y se volvían más fuertes, el número de repeticiones era reducido y la carga era incrementada. Luego de pasar la mitad del período total de entrenamiento, las repeticiones se incrementaron y se redujo la carga utilizada. Desde aquí y hasta el final del programa de entrenamiento, el número de repeticiones por serie se redujo progresivamente mientras que la carga se incremento.

A medida que progresaba el entrenamiento, los ejercicios se hacían físicamente más demandantes y aquellos ejercicios que requerían más coordinación fueron sustituidos por ejercicios más simples y menos demandantes en términos físicos que empleaban los mismos movimientos corporales.

Análisis Estadísticos

Los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando el programa *Statistica* para Macintosh (Statsoft; 1984-1994; Tulsa, OK). Para todas las mediciones se realizaron análisis estadísticos descriptivos. La homogeneidad de la varianza y la normalidad de la distribución fueron determinadas para todos los datos a partir de los valores de sesgo y de curtosis. Para determinar las diferencias entre todas las variables dependientes se utilizó el análisis de varianza ANOVA para mediciones repetidas. Se utilizaron tres niveles de medidas repetidas (semana 0, semana 14 y semana 24). Cuando se detectaban diferencias significativas se utilizaba el test post hoc de Tukey. Para las comparaciones entre hombres y mujeres, se empleó la prueba t para variables independientes. Mediante los coeficientes de correlación de Pearson se evaluó la correlación entre las mediciones realizadas con DEXA y con MRI para tejido blando graso y magro del muslo, así como también los cambios porcentuales luego del entrenamiento. Se utilizó un nivela alfa de 0.05 para todos los análisis estadísticos.

RESULTADOS

Los cambios en la masa de tejido blando corporal total y regional a lo largo del período de 24 semanas de entrenamiento se muestran en la Tabla 3. Se observó una reducción significativa (1.7 kg; 2.2 %) en el tejido blando corporal total. En correspondencia con esta reducción en el tejido blando corporal total fueron las pérdidas regionales en el tronco luego de

24 semanas (1.2 kg; 3.4 %) y en los brazos luego de 14 y 24 semanas (8.7 y 12.4 % del valor inicial, respectivamente). Sin embargo, en las piernas se observó un incremento significativo del tejido blando total (0.8 kg; 3.8 %) luego de los seis meses de entrenamiento.

Los cambios en el tejido blando graso y en la masa magra se muestran en las Tablas 4 y 5 respectivamente. De los ~2.6 kg de tejido graso que se perdieron con el entrenamiento, 1.3 kg correspondían a la región del tronco y, 1.1 kg correspondían a la región de los brazos. Se observaron reducciones significativas de tejido graso tanto en la semana 14 como en la semana 24 (4.2 y 9.7 % de los valores iniciales, respectivamente). Los brazos exhibieron la mayor reducción porcentual (30.8 %) seguidos por el tronco (11.6 %). Las piernas no experimentaron ningún cambio con respecto al contenido de tejido graso a lo largo de todo el estudio.

Al finalizar los 6 meses de entrenamiento se observó un incremento global del 2.2 % en el tejido blando magro corporal total (Tabla 5), observándose ya un incremento significativo luego de 14 semanas. Este incremento se produjo principalmente en la región de las piernas.

Región Corporal	Semana 0	Semana 14	Semana 24	Semanas 0-14	Semanas 14-24	Semanas 0-24
Todo el Cuerpo (kg)	24.7±9.4 *	23.4±8.8 †	22.1±8.7 ‡	-4.2 ± 9.2 %	-5.8±8.0 %	-9.7±12.8 %
Lado Izquierdo (kg)	12.4±4.8 *	11.6±4.4 †	11.1±4.3 ‡	-4.7 ± 9.6 %	-5.1±8.0 %	-9.8±13.8 %
Lado Derecho (kg)	12.3±4.7 *	11.6±4.4 †	11.0±4.4 ‡	-4.2 ± 8.5 %	-5.7±8.2 %	-9.5±12.5 %
Tronco (kg)	11.5±4.8 *	10.9±4.5 †	10.2±4.4 ‡	-4.9 ± 10.4 %	-7.2±12.0 %	-11.6±16.8 %
Izquierda (kg)	5.8±2.4 *	5.5±2.3 †	5.2±2.2 ‡	-4.8 ± 11.5 %	-6.7±11.8 %	-10.9±18.1 %
Derecha (kg)	5.7±2.4 *	5.4±2.3 †	5.0±2.2 ‡	-4.8 ± 10.4 %	-7.6±12.8 %	-12.0±16.5 %
Piernas (kg)	8.2±3.2 *	8.4±3.2 *	8.2±3.1 *	3.0 ± 1.8 %	-1.5±7.6 %	1.4±13.1 %
Izquierda (kg)	4.1±1.6 *	4.2±1.6 *	4.1±1.6 *	3.5 ± 12.4 %	-2.2±7.0 %	1.3±13.9 %
Derecha (kg)	4.1±1.6 *	4.2±1.6 *	4.1±1.5 *	3.0 ± 11.8 %	-1.2±8.7 %	1.5±13.3 %
Brazos (kg)	3.5±1.4 *	2.8±1.3 †	2.4±1.1 ‡	-21.4 ± 18.2 %	-10.7±22.4 %	-30.8±28.6 %
Izquierda (kg)	1.8±0.7 *	1.3±0.6 †	1.1±0.5 ‡	-23.6 ± 19.0 %	-9.7±25.2 %	-27.8±20.9 %
Derecha (kg)	1.7±0.7 *	1.4±0.7 †	1.3±0.6 ‡	-18.0 ± 20.8 %	-10.7±24.1 %	-32.4±27.0 %

Tabla 4. *Cambios en el contenido de tejido graso valorados con absorciometría dual de rayos X a lo largo de un programa periodizado de entrenamiento físico de 6 meses de duración. Los valores son presentados como medias±DE. Los mismos símbolos de superíndices a través de los puntos del tiempo indican falta de significancia estadística (p=0.05) en la diferencia entre los valores medios de una variable.*

Región Corporal	Semana 0	Semana 14	Semana 24	Semanas 0-14	Semanas 14-24	Semanas 0-24
Todo el Cuerpo (kg)	41.8±4.6 *	42.5±4.3 †	42.7±4.2 †	1.7±2.6 %	0.5 ± 2.1 %	2.2 ± 3.1 %
Lado Izquierdo (kg)	21.0±2.2 *	21.3±2.3 †	21.4±2.2 †	1.5±3.1 %	0.7 ± 2.9 %	2.2 ± 3.9 %
Lado Derecho (kg)	20.8±1.9 *	21.2±2.1 †	21.3±2.1 †	1.9±3.5 %	0.3 ± 3.0 %	2.2 ± 4.4 %
Tronco (kg)	20.3±1.9 *	20.5±2.1 *	20.5±2.0 *	1.1±4.7 %	0.0 ± 4.2 %	1.0 ± 4.8 %
Izquierda (kg)	10.3±1.1 *	10.4±1.1 *	10.4±1.1 *	1.4±5.3 %	0.7 ± 4.6 %	2.0 ± 5.8 %
Derecha (kg)	10.1±0.9 *	10.1±0.9 *	10.1±1.0 *	0.9±5.8 %	-0.6 ± 5.4 %	0.2 ± 6.5 %
Piernas (kg)	14.1±1.8 *	14.6±1.8 †	14.8±1.9 ‡	3.8±3.8 %	1.8 ± 3.8 %	5.5 ± 4.5 %
Izquierda (kg)	7.0±0.9 *	7.3±0.9 †	7.4±1.0 †	3.4±4.5 %	1.5 ± 3.9 %	4.8 ± 4.7 %
Derecha (kg)	7.1±0.9 *	7.3±0.9 †	7.5±1.0 ‡	4.1±4.3 %	2.1 ± 4.4 %	6.3 ± 5.2 %
Brazos (kg)	4.6±0.7 *	4.6±0.7 *	4.6±0.6 *	0.2±6.9 %	0.6 ± 7.0 %	0.6 ± 6.6 %
Izquierda (kg)	2.3±0.4 *	2.3±0.3 *	2.3±0.3 *	-0.9±9.4 %	0.3 ± 8.1 %	-0.8 ± 9.5 %
Derecha (kg)	2.3±0.3 *	2.4±0.3 *	2.4±0.3 *	0.7±8.4 %	1.2 ± 8.3 %	1.5 ± 7.2 %

Tabla 5. *Cambios en el contenido de tejido blando magro valorados con absorciometría dual de rayos X a lo largo de un programa periodizado de entrenamiento físico de 6 meses de duración. Los valores son presentados como medias±DE. Los mimos símbolos de superíndices a través de los puntos del tiempo indican falta de significancia estadística (p=0.05) en la diferencia entre los valores*

medios de una variable.

Los incrementos en la masa de tejido blando magro en la región de las piernas fueron observados entre las semanas 0 y 14 (3.8 %) y entre las semanas 14 y 24 (1.8 %), lo que totalizó un incremento global de 0.7 kg o 5.5 %. No se observaron cambios significativos en la masa de tejido blando magro en las regiones del tronco y de los brazos.

Tampoco se observaron cambios significativos en el contenido mineral óseo regional en respuesta al programa de entrenamiento (datos no mostrados). Los valores porcentuales del tejido graso corporal total y regional se muestran en la Tabla 6. La adiposidad corporal total inicial fue de 34.5 % y se redujo significativamente a 33.1 % después de 14 semanas de entrenamiento y a 31.8 % luego de los 6 meses de entrenamiento. Antes del entrenamiento, los brazos tenían la mayor adiposidad relativa (40.0 %), seguidos de las piernas (34.4 %) y el tronco (33.8 %). Con la acentuada pérdida de tejido graso en los brazos luego de solo 14 semanas de entrenamiento, la adiposidad regional relativa de los brazos y piernas 34.3 vs. 34.1 % respectivamente) fue equivalente y ligeramente mayor que en el tronco (32.4 %). Luego de los 6 meses de entrenamiento, la adiposidad relativa de las piernas (33.4 %) fue mayor que la del tronco (30.8 %) y que la de los brazos (31.3 %).

La composición corporal del grupo de mujeres que sirvieron de control (n=5) se mantuvo estable a través de todo el período de 6 meses, debido a que la única diferencia significativa fue el incremento en la masa tisular de los brazos (datos no mostrados). La Tabla 7 muestra los valores iniciales de la composición corporal regional de las mujeres vs. la de los hombres; y puede observarse que todas las mediciones fueron significativamente diferentes entre los hombres y las mujeres.

La Tabla 8 muestra los cambios en la morfología del muslo evaluados mediante la medición de las CSA obtenidas con MRI. En forma global, se observaron incrementos significativos entre las mediciones pre y post de la CSA total del muslo (249±14 vs. 258±15 cm^2) y en la CSA de la masa magra del muslo (160±6 vs 137±6 cm^2). La única CSA de los músculos individuales que exhibió un incremento significativo luego del entrenamiento fue la del recto femoral (8.2±0.8 vs. 9.0±0.8 cm^2). Las CSA de la masa grasa se mantuvieron sin cambios a través de todo el período de entrenamiento. La Tabla 9 muestra las correlaciones entre las CSA del muslo, obtenidas con MRI y las estimaciones del tejido magro y graso de la pierna, obtenidas mediante DEXA. Se observaron correlaciones significativas entre la DEXA y la MRI para las mediciones pre y postentrenamiento y para el porcentaje de cambio, tanto del tejido magro como del tejido graso.

Región Corporal	Semana 0	Semana 14	Semana 24
Todo el Cuerpo	34.5±7.8 *	33.1±7.6 †	31.8±7.9 ‡
Lado Izquierdo	34.6±7.7 *	33.1±7.6 †	31.8±7.8 ‡
Lado Derecho	34.5±7.9 *	33.0±7.6 †	31.7±8.7 ‡
Tronco	33.8±8.3 *	32.4±8.3 †	30.8±8.6 ‡
Izquierda	34.0±8.1 *	32.5±8.3 †	30.9±8.6 ‡
Derecha	33.7±8.5 *	32.3±8.4 †	30.7±8.7 ‡
Piernas	34.4±7.7 *	34.1±7.2 *	33.4±7.5 *
Izquierda	34.3±7.6 *	34.2±7.1 *	33.5±7.5 *
Derecha	34.4±7.8 *	33.9±7.2 * †	33.3±7.5 †
Brazos	40.0±8.4 *	34.3±9.4 †	31.3±9.5 ‡
Izquierda	40.3±8.8 *	33.9±9.9 †	30.8±9.7 ‡
Derecha	39.6±8.5 *	34.5±9.2 †	31.5±9.5 ‡

Tabla 6. *Cambios en el porcentaje de grasa regional valorados con absorciometría dual de rayos X a lo largo de un programa periodizado de entrenamiento físico de 6 meses de duración. Los valores son presentados como medias±DE dados en %. Los mimos símbolos de superíndices a través de los puntos del tiempo indican falta de significancia estadística (p=0.05) en la diferencia entre los valores medios de una variable.*

DISCUSION

En esta investigación se compararon los cambios en la composición de tejidos corporales totales y regionales (i.e., brazos, piernas, tronco) valorados mediante DEXA en mujeres, durante 24 semanas de entrenamiento físico. En forma global, el balance energético negativo a lo largo del programa de acondicionamiento de 24 semana estuvo reflejado por una pérdida significativa en la masa de tejidos corporales totales (22.2 %). La ganancia significativa de tejido blando magro (2.2 %) indicó un balance nitrogenado positivo, lo cual puede ser atribuido principalmente a la ganancia de masa magra en las piernas (5.5 %). La pérdida de masa grasa y el incremento de masa magra son efectos favorables y deseables de cualquier programa de entrenamiento y contribuyen a mejorar el nivel de aptitud física y de salud. Algo novedoso en este estudio fueron las impactantes diferencias observadas en los cambios de la composición de los tejidos de los brazos (reducción del 31 % de la masa grasa, pero sin cambios en la masa magra) en comparación con las piernas (incremento del 5.5 % en la masa magra, pero sin cambios en la masa grasa). Pocos estudios disponibles en la literatura han documentado cambios concomitantes en el tejido blando magro y graso y en el contenido mineral óseo del tren superior, inferior y del tronco luego de un entrenamiento físico longitudinal. Los hallazgos de este estudio muestran la importancia de considerar los cambios en la composición corporal regional en lugar de considerar solo los cambios en la composición corporal total.

El modelo de entrenamiento empleado en este estudio incluyó modos de ejercicio, tanto aeróbicos como de sobrecarga que se llevaron a cabo 5 días/semana (i.e., un alto volumen de trabajo total) y los cuales fueron eficaz en reducir tanto la adiposidad corporal total como la adiposidad regional en las zonas del tronco y de los brazos. Aunque la región de las piernas contenía 8.2 kg de tejido graso, lo que representaba el 34 % de las reservas iniciales totales de grasa, no se observó una movilización de las reservas de grasa en esta región. Las mediciones llevadas a cabo tanto con DEXA como con MRI del tejido graso de la pierna/muslo respaldan estos hallazgos. Previamente se ha reportado que hay una elevada resistencia a la movilización y utilización de grasa en el muslo tanto en hombres como en mujeres (19, 21). Esta resistencia a la movilización del tejido adiposo femoral ha sido atribuida a varios posibles factores, incluyendo la actividad de la lipoproteina lipasa, al flujo local de sangre, al índice de receptores agonistas/antagonistas, y a la sensibilidad lipolítica en respuesta al estímulo endócrino (9, 19, 21).

Región Corporal	Masa Total (kg)	Masa Magra (kg)	Masa Grasa (kg)	BMC (g)	Porcentaje de Grasa
Mujeres					
Todo el Cuerpo	66.5±11.8	41.8±4.0	24.7±9.4	2.70±0.64	34.5±7.8
Tronco	31.9±5.8	20.3±1.9	11.5±4.8	0.94±0.26	33.8±8.3
Piernas	22.3±4.2	14.1±1.8	8.2±3.2	0.95±0.24	34.4±7.7
Brazos	8.1±1.9	4.6±0.7	3.5±1.4	0.31±0.08	40.0±8.4
Hombres					
Todo el Cuerpo	77.6±12.4	62.7±8.9	14.9±5.5	3.51±0.73	18.0±5.0
Tronco	36.5±6.1	29.0±3.7	7.5±3.0	1.12±0.33	19.3±5.3
Piernas	26.7±4.4	21.6±3.5	5.1±1.7	1.32±0.36	18.0±5.0
Brazos	9.2±1.9	7.8±1.6	1.4±0.7	0.50±0.2	14.2±5.7

Tabla 7. *Comparación de la composición corporal regional entre hombres y mujeres. Los valores son presentados como medias±DE para las 31 mujeres y los 18 hombres. BMC, contenido mineral óseo. Todos los valores fueron significativamente diferentes entre los hombres y las mujeres, $p<0.05$.*

En base a los datos de estudios previos (5, 15) que evaluaron las pérdidas regionales de grasa en aspirantes a *Ranger* de sexo masculino luego de un déficit prolongado de energía, podemos sugerir que la movilización regional de grasa tuvo un orden jerárquico que fue: abdomen/tronco>brazos>piernas. Para las mujeres de este estudio la movilización regional de grasa tuvo el siguiente orden jerárquico: brazos>tronco>piernas. En estos dos estudios las intervenciones fueron separadas y únicas, pero las diferencias en la jerarquía del metabolismo de las grasas entre los sexos pueden además deberse a interacciones complejas entre los receptores regionales de los adipositos y las concentraciones sexualmente dimórficas de esteroides sexuales (e.g., testosterona y estradiol).

Morfología del Muslo	Semana 0	Semana 24
Area Total del Muslo (cm^2)	249±14	258±15 *
Área de Tejido Magro (cm^2)	130±6	137±6 *
% Tejido Magro	52.7±7.2	55.9±2.4 *
Área de Tejido Graso (cm^2)	114±11	115±12
% Tejido Graso	44.9±2.2	43.7±2.4
Músculos Individuales		
Recto Femoral (cm^2)	8.2±0.8	9.0±0.8*
Vasto Lateral (cm^2)	23.6±1.1	24.9±0.9
Vasto Intermedio (cm^2)	22.3±1.8	22.9±2.0
Vasto Medio (cm^2)	10.7±0.9	11.0±0.8
Sartorio (cm^2)	3.0±0.2	3.0±0.3
Bíceps Femoral Porción Corta (cm^2)	1.3±0.9	1.9±0.5
Bíceps Femoral Porción Larga (cm^2)	9.9±0.7	10.2±0.7
Semitendinoso (cm^2)	7.3±0.4	7.6±0.6
Semimembranoso (cm^2)	5.5±0.7	7.4±1.6
Grupo de los Aductores (cm^2)	28.6±1.5	29.2±3.2
Gracialis (cm^2)	3.9±0.4	4.0±0.4
Fémur (cm^2)	5.5±0.2	5.5±0.2

Tabla 8. *Cambios en la morfología de la musculatura del muslo valorados mediante imágenes obtenidas por resonancia magnética a lo largo de un programa periodizado de entrenamiento físico de 6 meses de duración. Los valores son presentados como medias±DE. * Cambio significativo producido entre la evaluación previa al comienzo del estudio (pre) y la evaluación posterior a finalizar las 24 semanas de entrenamiento (post), p<0.05.*

En el estudio previo, se demostró que aquellos aspirantes a *Ranger* que tenían la mayor adiposidad corporal total inicial perdieron significativamente más tejido graso de la región de los brazos que los aspirantes a *Ranger* con la menor adiposidad corporal total inicial. Se sabe que la grasa subcutánea del área del brazo es morfológicamente diferente que la de otras áreas, y este hecho puede contribuir a que la región de los brazos sea más propensa a acumular y movilizar grasa. En un estudio transversal llevado a cabo con 100 mujeres de entre 18-87 años, Madsen et al. (11) reportaron que el porcentaje regional de grasa era mayor en el área de los brazos. En el presente estudio, si bien las mujeres tuvieron una mayor adiposidad total y porcentual en cada área evaluada que la observada en el grupo estático de control conformado por hombres, la mayor diferencia en la adiposidad regional entre los hombres y las mujeres fue en la adiposidad de los brazos. Luego de 6 meses de entrenamiento, las mujeres fueron capaces de reducir la adiposidad regional de los brazos. Sin embargo, la adiposidad final de los brazos fue todavía mucho mayor que la adiposidad de los brazos observada en el grupo de comparación conformado por hombres. Esta aparente diferencia relacionada con el sexo en la adiposidad de los brazos puede ser una consecuencia funcional. En un estudio previo en donde se había controlado estadísticamente la CSA muscular regional (16), se reportó que las diferencias sexuales en la fuerza y en la potencia anaeróbica aun persistían, sugiriendo que hay otros factores además de la masa muscular que son responsables de las diferencias sexuales en el rendimiento físico. Uno de estos factores puede estar relacionado a la cantidad de masa grasa regional. El exceso de tejido no contractil (i.e., grasa) en una región particular debe ser desplazado durante el movimiento de las extremidades. Una gran cantidad de tejido graso en las mujeres puede dificultar la aceleración y la velocidad de ciertos movimientos, y de esta manera provocar un retardo en movimientos de tipo explosivo, y esta influencia es independiente de la cantidad de masa muscular. Por lo tanto, en el presente estudio aunque las mujeres no experimentaron incrementos en la masa de tejido blando magro en la región de los brazos, la significativa e impresionante pérdida de masa grasa en el área de los brazos pudo haber inducido alteraciones beneficiosas en la composición de los tejidos de los mismos (i.e., incrementar la muscularidad relativa de los brazos). Estos cambios inducidos por el entrenamiento podrían servir para aumentar el rendimiento físico orientado al movimiento (i.e., la capacidad de repetir levantamientos en tareas físicamente demandantes) (7, 17).

Variable	Correlación
Tejido Magro	
Pre	0.84
Post	0.83
%	0.88
Tejido Graso	
Pre	0.81
Post	0.92
%	0.72

Tabla 9. *Correlación entre los valores de las variables de la pierna/muslo valorados con absorciometría dual de rayos X y con imágenes obtenidas por resonancia magnética. Los valores son presentados como medias±DE. Todos los valores tuvieron una correlación significativa (p<0.05).*

El incremento en la masa de tejido blando magro corporal total no fue notable. Sin embargo, es importante señalar que el objetivo del programa de entrenamiento fue la mejora del rendimiento físico de las mujeres en tareas de orden militar (e.g., levantar y transportar cargas) y no la apariencia física o la hipertrofia muscular per se. Como tal, el enfoque del programa de entrenamiento estuvo orientado al entrenamiento de movimientos corporales, más que a una parte del cuerpo. Se ha postulado que la realización de ejercicios complejos, multiarticulares retarda la respuesta hipertrófica del sistema neuromuscular, debido a la prolongación de las adaptaciones neurales (4). Estas adaptaciones neurales al entrenamiento de la fuerza son bien conocidas e incluyen el reclutamiento y la sincronización de unidades motoras, la frecuencia de disparo, y la alteración de los patrones de activación de los músculos agonistas-antagonistas. Alternativamente, debido a que en este estudio no se controló la ingesta dietaria, el pequeño incremento en la masa de tejido blando magro pudo deberse a la insuficiente ingesta de energía requerida para el crecimiento muscular en todas las regiones del cuerpo.

El incremento en la masa de tejido blando magro corporal total se atribuyó principalmente al incremento de la masa de tejido blando magro en la región de las piernas, el cual fue del 5.5 %, determinado a través de la DEXA, en los 31 sujetos, y fue del 5.4 %, determinado a través de MRI en una submuestra de 11 mujeres. En contraste, no se observaron incrementos en la masa de tejido blando magro en la región de los brazos o del tronco. La hipertrofia diferencial en la región de las piernas en comparación con los brazos y el tronco puede atribuirse al estrés específico provocado por el programa de entrenamiento. El propósito principal del programa de entrenamiento fue mejorar específicamente la capacidad de las mujeres para levantar y transportar cargas. Durante el diseño del programa se hizo énfasis en la realización de ejercicios estructurales y ejercicios funcionales multiarticulares. Por lo tanto, no se seleccionaron ejercicios monoarticulares que ejercitaran aisladamente a un solo músculo. Este hecho puede explicar la falta de hipertrofia muscular en la región de los brazos, debido a que los músculos de esta región no fueron ejercitados aislada o específicamente. Más desconcertante fue la falta de hipertrofia en la región del tronco. Muchos ejercicios, de hecho, involucraban a los músculos ubicados en esta región. Los músculos en esta área son predominantemente músculos que cumplen funciones posturales con una mayor proporción de fibras tipo I, y se sabe que en las mujeres, estas fibras son más grandes que las fibras tipo II y que se hipertrofian menos (26). Es posible que la carga provocada por el entrenamiento no fuera lo suficientemente intensa como para reclutar y activar las unidades motoras tipo II en el área del tronco, limitando de esta manera el potencial para que se produzca una hipertrofia significativa de estas fibras musculares. Los hallazgos en el presente estudio contrastan con los de Chilibeck et al. (4), quienes reportaron incrementos significativos de la masa magra, valorada mediante DEXA, de los brazos, pero no de las piernas y del tronco, luego de solamente 14 semanas de entrenamiento de la fuerza. Esta disparidad en los hallazgos de los dos estudios puede ser parcialmente explicada a partir del análisis detallado de los ejercicios específicos realizados en cada programa de entrenamiento. En el estudio de Chilibeck et al. se utilizaron los ejercicios de curl de bíceps y extensiones del tríceps, mientras que en el presente estudio no se emplearon ejercicios que ejercitaran de manera aislada a los músculos de los brazos hasta la semana 20 del programa de 24 semanas. A pesar de la falta de hipertrofia en los brazos de las mujeres de este estudio, las mediciones de la fuerza máxima en una repetición, que implican una gran contribución de la musculatura del tren superior, se incrementaron significativa y dramáticamente (7). Kraemer et al. (8) reportaron recientemente incrementos medios de ~20 % en la musculatura del brazo, valorada mediante MRI en mujeres, luego de participar en un programa para el entrenamiento de la fuerza. De esta manera, si estos músculos son entrenados aislada y adecuadamente, las mujeres pueden mostrar una impresionante hipertrofia de la musculatura del tren superior.

El contenido mineral óseo se mantuvo sin cambios en todas las áreas evaluadas luego del programa de entrenamiento de la fuerza. Este hallazgo es consistente con lo reportado en un estudio llevado a cabo por Chilibeck et al. (3), en el cual se

observó que 20 semanas de entrenamiento de la fuerza no producían un incremento significativo en el contenido mineral óseo, medido mediante DEXA en una medición corporal total ni tampoco en las diferentes regiones del cuerpo. Lohman et al. (10) tampoco hallaron incrementos en la densidad mineral ósea luego de 18 meses de entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, estos autores (10) reportaron un pequeño, pero significativo incremento regional en la densidad mineral ósea de la columna lumbar luego de 5 meses de entrenamiento y en la densidad mineral ósea del trocánter del fémur luego de 12 meses de entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que se producen cambios localizados en el contenido mineral óseo antes de que se puedan apreciar cambios en el contenido mineral óseo corporal total.

Pocos estudios han realizado mediciones simultáneas con DEXA y MRI de la composición de las extremidades, antes y después de la realización de un entrenamiento físico. Nuestros datos sugieren que los dos métodos tienen una buena correlación, debido a que las mediciones de la masa magra y grasa, tanto de la pierna como del muslo estuvieron correlacionadas, antes y después del entrenamiento. El porcentaje de cambio en los tejidos blandos magro y graso también estuvo correlacionado. En base a porcentajes, la MRI arrojó mayores valores porcentuales de grasa que la DEXA. Los mayores valores porcentuales de grasa obtenidos con la MRI pueden ser explicados por el hecho de que las estimaciones realizadas mediante MRI fueron realizadas a través de imágenes obtenidas en una única sección de 1 cm en la región media del muslo, mientras que las estimaciones realizadas mediante DEXA se realizaron en toda la pierna. Obviamente, la porción de la pierna por debajo de la parte media del muslo, que incluye a la pantorrilla, tiene menos adiposidad que la región media y la región superior del muslo. Tothill et al. (22) también utilizaron MRI y DEXA para estimar la grasa regional y total en 13 mujeres posmenopáusicas. Estos investigadores reportaron que los resultados de los dos métodos estaban altamente correlacionados (valores de r de hasta 0.99), pero que mostraban poco acuerdo, ya que la DEXA producía valores mucho mayores del porcentaje total de grasa corporal. Estos autores señalaron apropiadamente que, a diferencia de la DEXA, las mediciones con MRI no detectan la grasa que no pertenece al tejido adiposo. Además, hay varias limitaciones potenciales de la DEXA. La DEXA valora tres componentes principales de los tejidos: mineral óseo, tejido graso y tejido magro, pero solo emplea fotones con dos energías diferentes y utiliza ecuaciones para separar los componentes (23, 24). Por lo tanto, es posible que el entrenamiento pueda inducir cambios en los tejidos que puedan influenciar las suposiciones subyacentes para los coeficientes de atenuación de los rayos X. Estudios futuros deberían explorar si los cambios en la morfología corporal inducidos por el entrenamiento (i.e., distribución relativa de los tejidos regionales) también alteran la atenuación asumida de los coeficientes de diferentes tejidos.

El entrenamiento alteró la distribución de tejido blando graso y magro entre las mujeres, y este cambio influenció las diferencias entre los sexos. En comparación con los hombres, las mujeres tuvieron un menor porcentaje de masa de tejido blando total distribuida en los brazos, tanto antes como después del entrenamiento. La menor cantidad (tanto total como relativa) de masa muscular en el área de los brazos en las mujeres en comparación con los hombres podría explicar, en parte, la variación sexual en la fuerza y potencia del tren superior. Sin embargo, las mujeres tuvieron un mayor porcentaje de su masa de tejido blando magro distribuida en el tronco, tanto antes como después del entrenamiento. Antes del entrenamiento, las mujeres tenían un porcentaje relativo de grasa en las piernas similar al de los hombres. Luego del entrenamiento, las mujeres tuvieron un porcentaje relativo de grasa en las piernas mayor al de los hombres. Aunque los mecanismos responsables subyacentes a las diferencias sexuales en la morfología corporal son sin duda multifactoriales (e.g., hormonales, dietarios, genéticos), este estudio demostró que estas diferencias entre hombres y mujeres pueden ser influenciadas por el entrenamiento.

En resumen, el programa de entrenamiento utilizado en este estudio probó ser efectivo para provocar cambios diferenciales en la morfología corporal regional. En forma global, se observaron incrementos significativos en la masa de tejido blando magro y reducciones significativas en la masa grasa. Los cambios en la masa grasa y en la masa magra de las piernas, valorados mediante DEXA, se correlacionaron bien con los cambios valorados mediante MRI en una submuestra de 11 mujeres. Este estudio representa uno de los primeros intentos de documentar las adaptaciones concomitantes en el tren superior, inferior y en el tronco con respecto a la masa de tejido blando magro y graso en el contenido mineral óseo, en respuesta a un extenso programa de entrenamiento. Los hallazgos de este estudio son una extensión del conocimiento actual acerca de la plasticidad de los tejidos corporales regionales y demuestra que se producen adaptaciones regionales distintas. Puede obtenerse información significativa si se consideran los cambios en la composición corporal regional en lugar de considerar solamente los cambios en la composición corporal total.

Dirección para el Pedido de Reimpresiones y otra Correspondencia

B. C. Nindl, Military Performance Div., US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA 01760 (correo electrónico: Bradley.Nindl@NA.AMEDD. Army.Mil).

REFERENCIAS

1. Bloomstand, E, Celsing F, Friden J, and Eklom B (1984). How to calculate human muscle fiber areas in biopsy samples-methodological study. *Acta Physiol Scand 122: 545-551*
2. Chilibeck, P, Calder A, Sale DG, and Webber C (1994). Reproducibility of dual X-ray absorptiometry. *Can Assoc Radiol J 45: 297-302*
3. Chilibeck, PD, Calder A, Sale DG, and Webber CE (1996). Twenty weeks of weight training increases lean tissue mass but not bone mineral mass or density in healthy, active young women. *Can J Physiol Pharmacol 74: 1180-1185*
4. Chilibeck, PD, Calder AW, Sale DG, and Webber CE (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol 77: 170-175*
5. Friedl, KE, Vogel JA, Marchitelli LJ, and Kubel SL (1993). Assessment of regional body composition changes by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA). *In: Human Body Composition: In Vivo Methods, Models, and Assessment, edited by Ellis KJ, and Eastman JD. New York: Plenum, p. 99-103*
6. Fuller, NJ, Laskey MA, and Elia M (1992). Assessment of the composition of major body regions by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), with special reference to limb muscle mass. *Clin Physiol 12: 253-266*
7. Harman, EA, Frykman PN, Palmer C, Lammi E, Reynolds K, and Backus V (1997). Effects of a Specially Designed Physical Conditioning Program on the Load Carriage and Lifting Performance of Female Soldiers. *Natick, MA: US Army Research Institute of Environmental Medicine. (Tech. Rep. T98-1)*
8. Kraemer, WJ, Nindl BC, Gotshalk LA, Marx JO, Tokeshi SA, Harman FS, Dohi K, Newton RU, Fleck SJ, and Hakkinen K (1998). Hypertrophy of the upper and lower body musculature in women following 6 months of periodized resistance training. *In: International Conference on Weightlifting and Strength Training, edited by Hakkinen K., and Jyväskylä. Finland: Gummerus, p. 171-172*
9. Leibel, RL, Edens NK, and Fried SK (1989). Physiologic basis for the control of body fat distribution in humans. *Annu Rev Nutr 9: 417-443*
10. Lohman, T, Going S, Pamenter R, Hall M, Boyden T, Houtkppper L, Ritenbaugh C, Bare L, Hill A, and Aickin M (1995). Effects of resistance training on regional and total bone mineral density in premenopausal women: a randomized prospective study. *J Bone Miner Res 10: 1015-1024*
11. Madsen, OR, Lautidsen UB, Hartkopp A, and Sorensen OH (1997). Muscle strength and soft tissue composition as measured by dual X-ray absorptiometry in women aged 18-87 years. *Eur J Appl Physiol 75: 239-245*
12. Mazess, RB, Barden HS, Boesk JP, and Hansen 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*
13. Miller, AE, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, and Sale DA (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur J Appl Physiol 66: 254-262*
14. Nindl, BC, Friedl KE, Frykman PN, Marchitelli LJ, Shippee RL, and Patton JF (1997). Physical performance and metabolic recovery among lean, healthy men following a prolonged energy deficit. *Int J Sports Med 18: 317-324*
15. Nindl, BC, Friedl KE, Marchitelli LJ, Shippee RL, Thomas CD, and Patton JF (1996). Regional fat placement in physically fit males and changes with weight loss. *Med Sci Sports Exerc 28: 786-793*
16. Nindl, BC, Mahar MT, Harman EA, and Patton JF (1995). Upper and lower body anaerobic performance: a comparison between male and female adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc 27: 235-241*
17. Nindl, BC, Sharp MA, Mello RP, Rice VJ, Murphy M, and Patton JF (1988). Gender comparison of peak oxygen uptake: repetitive box lifting vs. treadmill running. *Eur J Appl Physiol 77: 112-117*
18. Peiris, AN, Thakur RK, Sothman MS, Gustafson AB, Hennes MI, Wilson CR, and Kissebah AH (1991). Relationship of regional fat distribution and obesity to electrocardiographic parameters in healthy premenopausal women. *South Med J 84: 961-965*
19. Rognum, TO, Rodahl K, and Opstad PK (1982). Regional differences in the lipolytic response of the subcutaneous fat depots to prolonged exercise and severe energy deficiency. *Eur J Appl Physiol 49: 401-408*
20. Ryan, AS, Nicklas BJ, and Dennis KE (1998). Aerobic exercise maintains bone mineral density during weight loss in postmenopausal women. *J Appl Physiol 84: 1305-1319*
21. Smith, U, Hammerstein J, Bjorntorp P, and Kral JG (1979). Regional differences and effect of weight reduction on human fat cell metabolism. *Eur J Clin Invest 9: 327-332*
22. Tothill, P, Han TS, Avenell A, McNeill G, and Reid DM (1996). Comparisons between fat measurements by dual-energy X-ray absorptiometry, underwater weighing and magnetic resonance imaging in healthy women. *Eur J Clin Nutr 30: 747-752*
23. Tothill, P, Han TS, Avenell A, McNeill G, and Reid DM (1998). Comparisons between fat measurements by dual-energy X-ray absorptiometry, magnetic resonance imaging and underwater weighing. *Appl Radiat Isot 49: 457-459*
24. Tothill, P, and Nord RH (1995). Limitations of dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr 61: 398-400*
25. Treuth, MS, Ryan AS, Pratley RE, Rubin MA, Miller JP, Nicklas BJ, Sorkin J, Harman SM, Goldberg AP, and Hurley BF (1994). Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *J Appl Physiol 77: 614-629*
26. Wang, N, Hikida RS, Staron RS, and Simoneau JA (1993). Muscle fiber types of women after resistance training-quantitative ultrastructure and enzyme activity. *Pflügers Arch 424: 494-502*
27. Wang, Q, Hassager C, Raven P, Wang S, and Christiansson C (1994). Total and regional body-composition changes in early postmenopausal women: age-related or menopause-related. *Am J Clin Nutr 60: 843-848*

Cita Original

Nindl BC, Harman E.A., Marx J.O., Gotshalk L.A., Frykman P.N., Lammi E., Palmer C., and Kraemer J.W. Regional body composition changes in women after 6 months of periodized physical training. J Appl Physiol; 88: 2251-2259, 2000.