

Article

Ejercicio de Swing de Brazo Mejora la Capacidad de Ejercicio y el Consumo de Oxígeno en Adultos Jóvenes Sedentarios con Sobrepeso y con Peso Normal

Piyapong Prasertsri¹, Orachorn Boonla¹, Jatuporn Phoemsapthawee² y Naruemon Leelayuwat^{3,4}

¹Facultad de Ciencias de la Salud Aliadas, Universidad de Burapha, Chonburi, Tailandia

²Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Kasetsart, Campus de Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Tailandia

³Facultad de Medicina, Universidad de Khon Kaen, Khon Kaen, Tailandia

⁴Grupo de Investigación y Desarrollo en Ciencias del Deporte y Ejercicio, Universidad Khon Kaen, Khon Kaen, Tailandia

RESUMEN

El propósito de este estudio fue investigar los efectos del entrenamiento del ejercicio de swing de brazo (ESB) sobre la capacidad de ejercicio y la actividad cardíaca autónoma en adultos jóvenes sedentarios con sobrepeso y con peso normal. Cuarenta voluntarios sedentarios fueron reclutados y clasificados en dos grupos de acuerdo con su índice de masa corporal (IMC). Los sujetos de ambos grupos, con sobrepeso (edad $20 \pm 0,36$ años, IMC $27,46 \pm 1,52$ kg•m⁻²) y con peso normal (edad $20 \pm 0,66$ años, IMC $20,50 \pm 1,75$ kg•m⁻²) fueron agrupados por edad y sexo. Ellos participaron en el programa de entrenamiento de ESB durante 2 meses, 30min•d⁻¹, 3d•sem⁻¹. Antes y después de realizar el programa de entrenamiento, se determinó la distancia de 6 minutos recorrida caminando (D6MC), el pico de consumo de oxígeno (pico de VO₂), la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), la recuperación de FC y la reserva de FC. Hubo aumentos significativos en la D6MC y en el pico de VO₂ en ambos grupos después del entrenamiento de ESB ($P < 0,05$). El grupo con sobrepeso mostró un pico de VO₂ significativamente más bajo que el del grupo de peso normal ($P < 0,05$). Sin embargo, la VFC, la recuperación de FC, y la reserva de FC no se modificaron significativamente después del entrenamiento de ESB ($P > 0,05$). El grupo con sobrepeso también mostró FC en reposo, PAS, PAD y PAM significativamente más altas que los sujetos en el grupo de peso normal ($P < 0,05$). Este estudio indica que los adultos jóvenes sedentarios con sobrepeso y peso normal pueden mejorar la capacidad de ejercicio y el pico de VO₂ pero no la actividad cardíaca autónoma después de 2 meses de entrenamiento de ESB.

Palabras Clave: Capacidad de Ejercicio, Consumo de Oxígeno, Variabilidad de Frecuencia Cardíaca, Swing de Brazo

INTRODUCCIÓN

El exceso de peso y la obesidad son endémicos en los países en desarrollo (5). Tailandia también está pasando por una

transición de riesgo para la salud con estas dos condiciones que emergen como un importante problema de salud (3). La obesidad es la causa principal de muchas enfermedades crónicas relacionadas, como la diabetes mellitus (DM), la hipertensión y las enfermedades cardiovasculares (ECV) (25). El estilo de vida sedentario conduce a un aumento del peso corporal y a la gordura (6). Existe una asociación del estilo de vida sedentario y el alto índice de masa corporal (IMC) con un riesgo creciente de ECV (24). La capacidad de ejercicio se ha convertido en un predictor bien establecido de muerte por ECV (2). Esta capacidad disminuye con el peso corporal en personas obesas y con sobrepeso (35).

El consumo pico de oxígeno (pico de VO_2) es un marcador para la capacidad de ejercicio (37). Con el aumento del IMC el pico de VO_2 también disminuye, lo que resulta en una disminución posterior en la capacidad de ejercicio (21). Se ha demostrado que el ejercicio regular se asocia con niveles más altos de aptitud física y pico de VO_2 , y se asocia con un riesgo reducido de ECV (37). Existe una relación entre VO_2 y FC (12). Un aumento en el flujo parasimpático cardíaco, que a su vez disminuye la FC, se asocia con un mayor aumento del pico de VO_2 entre individuos sedentarios y físicamente entrenados (26).

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) proporciona información indirecta sobre la actividad cardíaca autónoma (19). La VFC reducida se asocia con un aumento del IMC y, por tanto, un aumento del riesgo de morbilidad y mortalidad por ECV (15). Una reducción en el flujo parasimpático está directamente relacionada con la VFC reducida y también la reserva de FC (15, 20). La reactivación parasimpática es un importante mecanismo de recuperación de la FC y posterior capacidad de ejercicio. Recientes investigaciones han demostrado que la recuperación deficiente de la FC después del ejercicio se asocia con un mayor IMC, lo que sugiere una disfunción parasimpática en personas obesas y con sobrepeso (4). Se ha demostrado que el entrenamiento de ejercicio modula con éxito la actividad cardíaca autónoma disminuyendo el flujo simpático y potenciando el flujo parasimpático (36). En consecuencia, el entrenamiento de ejercicio tiene un fuerte efecto beneficioso sobre la actividad cardíaca autónoma y, por lo tanto, parece compensar el efecto negativo del exceso de peso y la obesidad en la VFC (15).

El ejercicio de swing de brazo (ESB) se ha practicado ampliamente en China y Tailandia por más de 50 años (28). Este tipo de ejercicio se clasifica como ejercicio de baja intensidad que se basa en el nivel aproximado del 23% del VO_2 máximo y 45% de la FC máxima (FCmáx) (29). Unos pocos estudios (29, 39) han revelado los beneficios del entrenamiento de ESB en el control glucémico, el estrés oxidativo y la función pulmonar en pacientes diabéticos tipo 2. Sin embargo, hasta donde sabemos no ha habido estudios sobre el efecto del peso corporal sobre la respuesta fisiológica al entrenamiento con ejercicios de baja intensidad, especialmente en adultos jóvenes. El propósito de este estudio fue investigar los efectos del entrenamiento de ESB sobre la capacidad de ejercicio y la actividad cardíaca autónoma en adultos jóvenes sedentarios con sobrepeso y peso normal.

MÉTODOS

Sujetos

Cuarenta adultos jóvenes sanos fueron incluidos en el estudio: (a) sobrepeso [N = 20; 4 varones y 16 mujeres, edad $20,06 \pm 0,36$ años, IMC $27,46 \pm 1,52$ kg·m⁻²]; y (b) peso normal [N = 20; 4 varones y 16 mujeres, edad $20,11 \pm 0,66$ años, IMC $20,50 \pm 1,75$ kg·m⁻²]. Los dos grupos fueron agrupados por edad y sexo. Antes de que se les ofreciera un formulario de consentimiento para participar, los sujetos fueron informados de su papel en el estudio tanto verbalmente como por escrito. El formulario de consentimiento y los protocolos de estudio fueron hechos de acuerdo con las normas éticas del Comité de Ética Humana de la Universidad de Burapha (aprobación n^o 40/2557), así como con la Declaración de Helsinki de 1964 y sus enmiendas posteriores. Los sujetos no eran fumadores o bebedores. También estaban libres de enfermedades cardiovasculares, renales, neuromusculares, ortopédicas y hepáticas, según se determinó mediante el examen preliminar con cuestionarios de salud y exámenes físicos antes de participar en el estudio.

Cálculo de Potencia

Se utilizó el programa WINPEPI para calcular el tamaño de la muestra para este estudio. Los datos de investigaciones anteriores demostraron que el entrenamiento de bicicleta y caminata aumentaban la capacidad funcional de ejercicio (30). Este estudio esperaba encontrar un aumento del 5% en la capacidad de ejercicio después del entrenamiento de ESB. Se tomó la decisión de requerir un 80% de potencia con un nivel de significancia de 0,05. En consecuencia, el tamaño propuesto fue de 20 sujetos por grupo y el total fue de 40 sujetos.

Diseño del Estudio y Mediciones Iniciales

Este estudio fue diseñado para evaluar el efecto del entrenamiento de ESB en la capacidad de ejercicio y la actividad cardíaca autónoma en adultos jóvenes sedentarios con sobrepeso y peso normal. Todos los sujetos recibieron exámenes médicos, incluyendo signos vitales, y se tomaron antecedentes médicos antes de la inscripción. Se tomaron medidas de altura, masa corporal, a partir de las cuales se determinó el IMC. La composición corporal se midió en la posición de pie usando un caliper de pliegue cutáneo estándar. La distribución de grasa se evaluó midiendo circunferencias de cintura y cadera y su relación.

Procedimientos

Los sujetos en los grupos con sobrepeso y peso normal recibieron el programa de entrenamiento de ESB durante 2 meses con una frecuencia de 30 min·d⁻¹, 3 d·sem⁻¹. Antes y después del entrenamiento, se midió la capacidad de ejercicio, el pico de VO₂, la actividad cardíaca autónoma, la recuperación de FC y la reserva de FC. También se midieron las variables antropométricas y la composición corporal. Se pidió a los sujetos que registraran su ingesta dietética y su actividad física durante 3 días (2 días de semana y 1 día de fin de semana). Los datos se analizaron a continuación para estimar el consumo diario de energía y el gasto (datos no presentados). Se realizó un test de ejercicio incremental utilizando un cicloergómetro electrónico para determinar la FC_{máx} (33). La FC obtenida se utilizó para calcular la recuperación de FC y la reserva de FC.

Determinación de la Capacidad de Ejercicio

Se utilizó un test de caminata de 6 minutos (TC6M) para evaluar la capacidad de ejercicio. Este test se ha utilizado en ensayos clínicos (10). Se les pidió a los sujetos que caminen a su ritmo habitual y que caminen la mayor distancia posible en el tiempo disponible. La longitud de la pasarela era de 30 m con conos colocados en cada extremo para indicar giros. La distancia que los sujetos fueron capaces de caminar en un total de 6 min (D6MC) se definió como la capacidad de ejercicio. Se determinaron los índices de Borg del esfuerzo percibido (escala IEP 6-20) y los índices de la disnea percibida (escala IDP 1-10) antes e inmediatamente después del TC6M.

Determinación del Pico de Consumo de Oxígeno (pico de VO₂)

El pico de VO₂ se estimó utilizando la D6MC de los sujetos combinada con el peso corporal, el sexo, la FC en reposo, y la edad de acuerdo con la siguiente ecuación (8):

$$\text{Pico de VO}_2 \text{ (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\text{)} = 70,161 + [0,023 \times \text{D6MC (m)}] - [0,276 \times \text{peso (kg)}] - (6,79 \times \text{sexo, donde m = 0, f = 1}) - [0,193 \times \text{FC en reposo (latidos}\cdot\text{min}^{-1}\text{)}] - [0,191 \times \text{edad (años)}]$$

Determinación de la Actividad Cardíaca Autónoma

La actividad cardíaca autónoma se determinó por la VFC usando el Polar RS800CX. Esta herramienta ha sido validada y se ha demostrado que es fiable para medir la FC (14). El sistema Polar consta de un monitor de FC con software incluido (Polar Pro Trainer 5), que se utiliza para derivar valores de VFC.

La VFC se evaluó con sujetos en reposo y sentados durante 5 min. El análisis de la VFC en el dominio del tiempo comprendió la duración media de todos los intervalos RR normales (RR medio), los diámetros transversales y longitudinales del gráfico de Poincaré (SD1 y SD2), las diferencias de valor cuadrático medio de los intervalos NN sucesivos (RMSSD), el número de intervalos NN adyacentes que difieren en más de 50 ms (pNN50), y la potencia total (PT). En el dominio de la frecuencia, el análisis incluyó los valores de los intervalos de frecuencia muy baja, baja y alta (FMB, FB y FA) y la relación FB/FA. La recuperación de FC y la reserva de FC obtenidas del test de ejercicio incremental también se determinaron como una medida de la actividad cardíaca autónoma.

Análisis Estadísticos

Los datos se analizaron utilizando el SPSS (IBM Inc. Armonk, NY, EE.UU.). Todos los datos se expresan como media \pm DE, a menos que se indique lo contrario. Los t-tests de Student, emparejados y no emparejados, se utilizaron para evaluar las diferencias dentro de cada grupo y entre los grupos, respectivamente. La significación estadística se estableció en $P < 0,05$.

RESULTADOS

Características Físicas

Las características físicas de los sujetos se presentan en la Tabla 1. La masa corporal, el IMC, las circunferencias de cintura y cadera, la relación C/C, el porcentaje de grasa corporal, la masa grasa, el porcentaje de cuerpo magro y la masa corporal magra fueron significativamente mayores en el grupo con sobrepeso comparado con el grupo de peso normal al inicio; y estas diferencias se mantuvieron después del entrenamiento de ESB de 2 meses ($P < 0,05$).

Tabla 1. Características Físicas de los Grupos con Peso Normal y con Sobrepeso al Inicio y Después del Período de Entrenamiento de ESB de 2 Meses.

	Grupo con Peso Normal		Grupo con Sobrepeso	
	Inicio	Luego	Inicio	Luego
Sexo (M:F)	4:16	4:16	4:16	4:16
Edad (a)	20 ± 0.66	20 ± 0.66	21 ± 2.36	21 ± 2.36
Altura (m)	1.61 ± 0.06	1.61 ± 0.06	1.67 ± 0.09	1.67 ± 0.09
Masa Corporal (kg)	50.8 ± 6.75	50.3 ± 6.82	82.7 ± 14.86 [#]	74.6 ± 7.72 [#]
IMC (kg·m ⁻²)	19.5 ± 1.75	19.3 ± 1.84	29.5 ± 3.52 [#]	28.0 ± 1.97 [#]
Circunferencia de Cintura (cm)	67.8 ± 5.91	66.7 ± 5.65	92.6 ± 13.20 [#]	88.5 ± 6.89 [#]
Circunferencia de Cadera (cm)	90.0 ± 5.96	91.4 ± 5.61	108.0 ± 6.02 [#]	107 ± 6.38 [#]
Relación C/C	0.75 ± 0.05	0.73 ± 0.04 [*]	0.86 ± 0.09 [#]	0.83 ± 0.06 [#]
Grasa Corporal (%)	20.1 ± 6.60	18.8 ± 6.19	29.6 ± 6.52 [#]	30.7 ± 7.75 [#]
Masa Grasa (kg)	10.2 ± 3.95	9.5 ± 3.58	23.8 ± 6.55 [#]	22.7 ± 5.88 [#]
Cuerpo Magro (%)	79.9 ± 6.60	81.2 ± 6.19	70.4 ± 6.52 [#]	69.3 ± 7.75 [#]
Masa Corporal Magra (kg)	40.6 ± 6.71	40.8 ± 6.40	56.9 ± 12.16 [#]	51.9 ± 9.13 [#]

Los datos se expresan como media ± DE, N = 20. IMC = Índice de Masa Corporal, C/C = Circunferencia de Cintura a Cadera * Significativamente diferente del valor inicial ($P < 0,05$), # Significativamente diferente del grupo con peso normal ($P < 0,05$).

Capacidad de Ejercicio

Comparación Dentro del Grupo

Hubo un aumento significativo en la D6MC después del período de 2 meses de entrenamiento de ESB tanto en el grupo con peso normal (558,3 ± 59,5 vs. 580,8 ± 49,1 m; $P < 0,05$) como en el grupo con sobrepeso (543,5 ± 30,77 vs. 562,7 ± 39,76 m; $P < 0,05$) (Figura 1). Los valores del IEP de Borg y el IDP fueron significativamente más bajos después del entrenamiento de ESB tanto en los sujetos con peso normal (IEP: 13,8 ± 2,29 vs. 11,5 ± 1,74; $P < 0,05$ e IDP: 5,05 ± 2,66 vs. 3,16 ± 1,86; $P < 0,05$) y en los sujetos con sobrepeso (IEP: 13,8 ± 2,43 vs. 11,7 ± 2,36; $P < 0,05$ e IDP: 4,20 ± 2,08 vs. 3,25 ± 1,65; $P < 0,05$).

Comparación Entre Grupos

No hubo diferencias significativas en los valores de la D6MC, el IEP de Borg y el IDP entre los grupos con peso normal y con sobrepeso al inicio y después del período de 2 meses de entrenamiento de ESB ($P > 0,05$) (Figura 1). Además, no hubo diferencias significativas entre los grupos en el cambio porcentual en la D6MC (grupo con peso normal versus grupo con sobrepeso: 4,57 ± 8,37 vs. 4,33 ± 5,47).

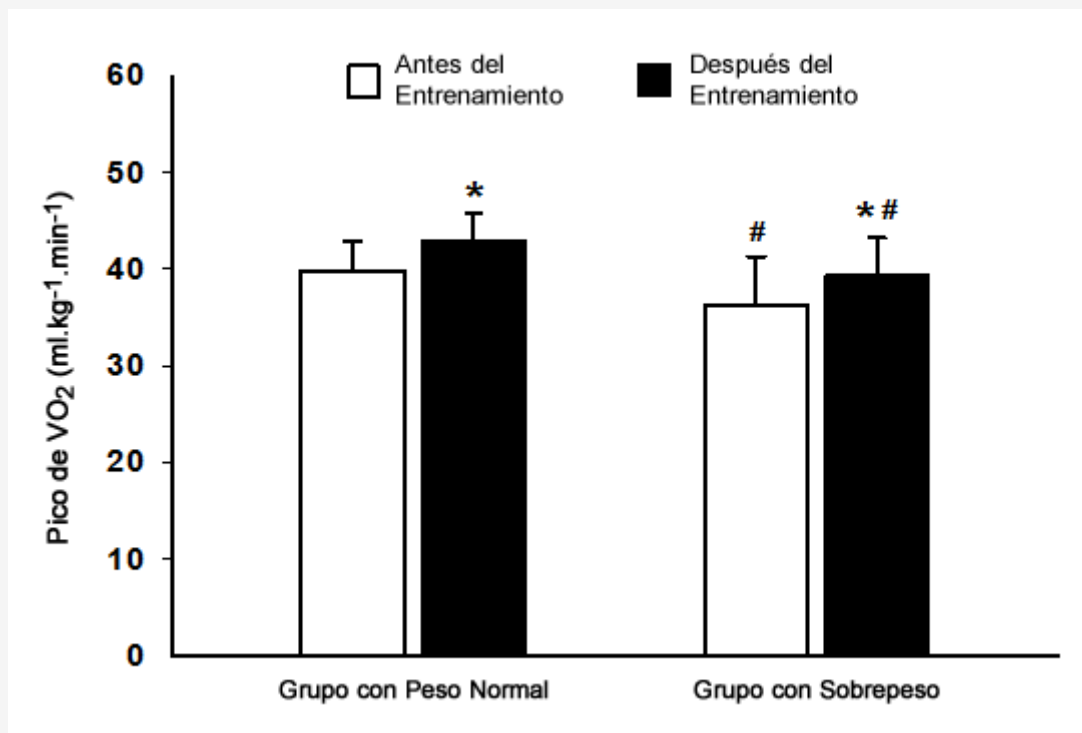


Figura 1. Distancia de Caminata de Seis Minutos de los Grupos con Peso Normal y con Sobrepeso al Inicio y Después del Período de Entrenamiento de ESB de 2 Meses. Los valores se expresan como media \pm DE, N = 20 por grupo. * Significativamente diferente del valor inicial (P <0.05).

Consumo Pico de Oxígeno (Pico de VO₂)

Comparación Dentro del Grupo

Hubo un aumento significativo en el pico de VO₂ tanto en el grupo con peso normal (39,9 \pm 3,05 vs. 43 \pm 2,83 mL.kg⁻¹.min⁻¹; P<0,05) como en el grupo con sobrepeso (36,3 \pm 5,00 vs. 39,3 \pm 3,91 mL.kg⁻¹.min⁻¹; P<0,05) después del período de entrenamiento de ESB de 2 meses (Figura 2).

Comparación Entre Grupos

Al inicio del estudio, el pico de VO₂ fue significativamente menor en el grupo con sobrepeso que en el grupo de peso normal (P<0,05). Esta diferencia se mantuvo después del período de entrenamiento de ESB (P<0,05) (Figura 2). Sin embargo, no hubo diferencias significativas en el cambio porcentual en el pico de VO₂ entre los grupos (grupo con peso normal vs. grupo con sobrepeso: 9,91 \pm 5,08 vs. 8,08 \pm 4,93)

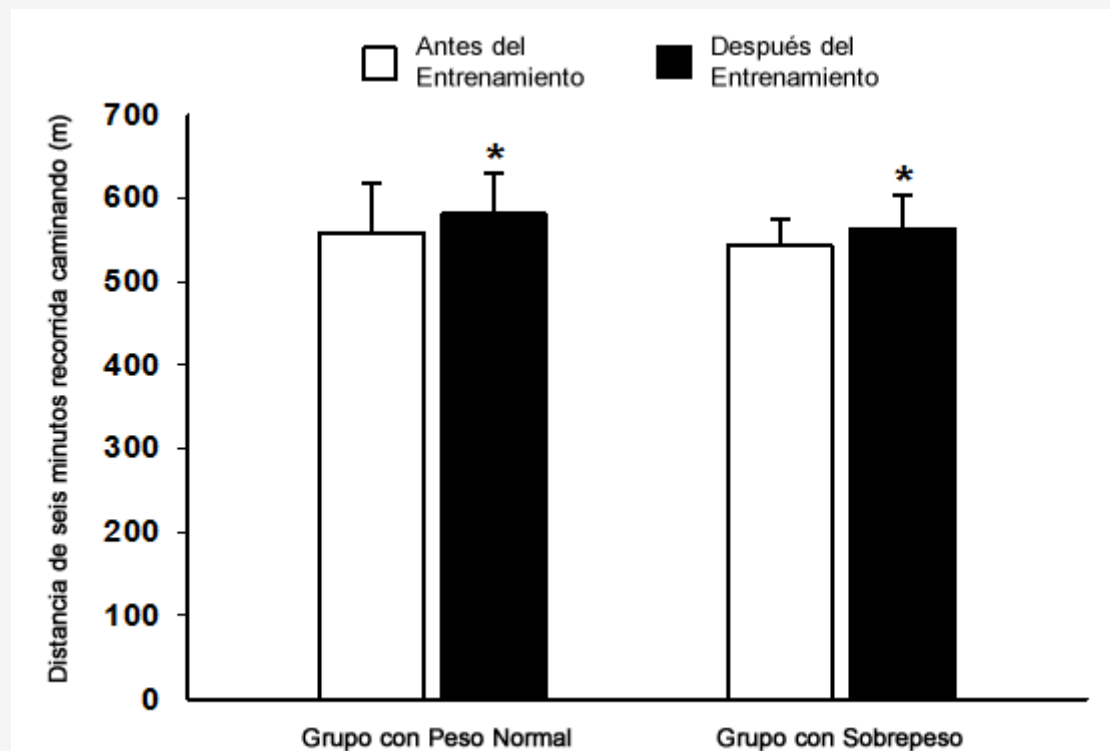


Figura 2. Consumo Pico de Oxígeno (pico de VO_2) de los Grupos con Peso Normal y con Sobrepeso al Inicio y Después del Período de Entrenamiento de ESB de 2 meses. Los valores se expresan como media \pm DE, N = 20 por grupo. * Significativamente diferente del valor inicial ($P < 0.05$). #Significativamente diferente del grupo con peso normal ($P < 0.05$).

Actividad Cardíaca Autónoma

La actividad cardíaca autónoma incluyó la media de RR, SD1, SD2, RMSSD, pNN50, TP, FMB, FB, FA y relación FB/FA, FC en reposo, recuperación de FC y reserva de FC. Los resultados se muestran en la Tabla 2. No hubo diferencias significativas en estas variables después del período de entrenamiento de ESB. Hemos observado que la FC en reposo fue significativamente mayor en el grupo con sobrepeso en comparación con el grupo de peso normal ($P < 0,05$), que se mantuvo después del período de entrenamiento de ESB.

Tensión Arterial y Frecuencia Cardíaca

En la Tabla 3 se muestran la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistólica y diastólica (PAS y PAD), la presión de pulso (PP), la presión arterial media (PAM) y el doble producto cardíaco (DPC). No hubo diferencias significativas en estas variables luego del período de entrenamiento de ESB. Observamos que la FC en reposo, la PAS, la PAD, la PP y la PAM fueron significativamente mayores en el grupo con sobrepeso en comparación con el grupo de peso normal al inicio ($P < 0,05$), que se mantuvo a excepción de la PP después del período de entrenamiento de ESB.

Tabla 2. Actividad Cardíaca Autónoma de los Grupos con Peso Normal y con Sobrepeso al Inicio y Después del Período de Entrenamiento de ESB de 2 Meses.

	Grupo con Peso Normal		Grupo con Sobrepeso	
	Inicio	Luego	Inicio	Luego
Media de RR (ms)	677.2 ± 61.14	658.3 ± 88.68	722.9 ± 108.87	706.1 ± 120.88
SD1 (ms)	22.5 ± 13.41	24.6 ± 14.00	19.8 ± 10.21	21.2 ± 9.93
SD2 (ms)	68.3 ± 21.94	88 ± 29.28	76.1 ± 28.17	77 ± 26.86
RMSSD (ms)	31.8 ± 18.97	34.8 ± 19.80	28.1 ± 14.44	30.1 ± 14.04
pNN50 (%)	6.65 ± 8.50	6.70 ± 7.99	3.65 ± 4.20	4.35 ± 4.76
PT (ms ²)	3907.4 ± 2946.8	3780.0 ± 3052.6	4736.4 ± 3375.6	4515.1 ± 3602.2
FMB (ms ²)	2658.7 ± 1096.8	2602.6 ± 1291.4	3231.2 ± 1256.1	3144.0 ± 1254.9
FB (ms ²)	597.5 ± 283.57	570.9 ± 288.01	671.7 ± 282.08	615.2 ± 281.40
FA (ms ²)	340 ± 131.12	357.8 ± 117.64	254 ± 114.12	274.8 ± 128.75
FB/FA Ratio	1.24 ± 2.33	1.17 ± 1.77	2.25 ± 1.34	2.13 ± 3.87
FC en reposo (lpm)	79.00 ± 13.65	77.53 ± 13.94	95.00 ± 16.04 [#]	92.21 ± 13.24 [#]
Recuperación de FC (lpm)	25.5 ± 13.33	29.8 ± 12.55	19.6 ± 10.34	23.3 ± 18.51
Reserva de FC (lpm)	44.3 ± 18.37	52.0 ± 15.67	33.4 ± 12.96	34.0 ± 19.30

Los datos se expresan como media ± DE, N = 20 por grupo. **Media de RR** = Duración Media de todos los Intervalos RR Normales a Normales, **SD1** = Diámetros Transversales del Diagrama de Poincaré, **SD2** = Diámetros Longitudinales del Diagrama de Poincaré, **RMSSD** = Diferencias del Valor Cuadrática Medio de los Intervalos NN Sucesivos, **pNN50** = Número de Intervalos NN Adyacentes que difieren por más de 50 ms, **PT** = Potencia Total, **FMB** = Frecuencia Muy Baja, **FB** = Frecuencia Baja, **FA** = Frecuencia Alta, **FC** = Frecuencia Cardíaca. # Significativamente diferente del grupo con peso normal (P < 0,05).

Tabla 3. Presión Arterial y Frecuencia Cardíaca en Reposo de los Grupos con Peso Normal y con Sobrepeso al Inicio y Después del Período de Entrenamiento de ESB de 2 Meses.

	Grupo con Peso Normal		Grupo con Sobrepeso	
	Inicio	Luego	Inicio	Luego
FC (lpm)	79 ± 13.65	78 ± 13.94	95 ± 16.04 [#]	92 ± 13.24 [#]
PAS (mmHg)	105 ± 14.42	102.4 ± 14.97	120.7 ± 9.44 [#]	118.2 ± 9.48 [#]
PAD (mmHg)	66.3 ± 7.39	63.5 ± 8.08	73.5 ± 7.65 [#]	71.7 ± 8.74 [#]
PP (mmHg)	38.7 ± 10.95	38.9 ± 12.18	49.0 ± 11.28 [#]	44.7 ± 4.92
PAM (mmHg)	79.2 ± 8.89	76.4 ± 9.23	88.0 ± 7.24 [#]	88.4 ± 7.97 [#]
DPC (mmHg·min ⁻¹)	9748.1 ± 2368.9	9644.4 ± 1723.6	9333.5 ± 1743.3	9329.4 ± 1790.9

Los datos se expresan como media ± DE, N = 20 por grupo. **FC** = Frecuencia Cardíaca, **PAS** = Presión Arterial Sistólica, **PAD** = Presión Arterial Diastólica, **PP** = Presión Pulso, **PAM** = Presión Arterial Media, **DPC** = Doble Producto Cardíaco. # Significativamente diferente del grupo con peso normal (P < 0,05).

DISCUSIÓN

Este estudio investigó los efectos de un período de entrenamiento de ESB de dos meses en la capacidad de ejercicio y la actividad cardíaca autónoma en adultos jóvenes sedentarios con peso normal y con sobrepeso agrupados por sexo y edad. Los resultados sugieren que los sujetos con sobrepeso y con peso normal que recibieron entrenamiento de ESB habían mejorado significativamente el pico de VO₂ y la capacidad de ejercicio, aunque el cambio porcentual en estas variables

después del período de ejercicio no difirió significativamente entre los grupos. Por otro lado, la actividad cardíaca autónoma medida por la VFC, la recuperación de FC y la reserva de FC no se modificó significativamente después del entrenamiento de ESB. Los sujetos con sobrepeso también mostraron un pico de VO_2 significativamente más bajo y una mayor FC en reposo, PAS, PAD y PAM que las de los sujetos con peso normal.

La capacidad de ejercicio refleja una respuesta coordinada de la función cardiovascular, pulmonar y neural junto con la función de los músculos que se ejercitan (18). Las personas con sobrepeso tienen una capacidad de ejercicio deficiente (35). En contraste, el entrenamiento de ejercicio puede compensar este efecto negativo del exceso de peso. Varios beneficios relacionados con la salud se han observado en personas con sobrepeso que participan en programas de entrenamiento de ejercicio, incluso en aquellos sin pérdida significativa de peso (11). Los efectos cardíacos del entrenamiento de ejercicio incluyen una mejor protección contra la isquemia o lesión por re-perfusión como consecuencia de una mayor protección antioxidante y una mejoría de la función sistólica y diastólica del ventrículo izquierdo (17). Los efectos vasculares incluyen una mejorada vasodilatación mediada endotelialmente en arterias de conducto y arterias de resistencia más grandes, y un aumento de la vasodilatación metabólica en arterias de resistencia pequeñas. La regeneración vascular también se mejora con el entrenamiento de ejercicio (17). Leelayuwat y sus colegas demostraron un efecto protector potencial del entrenamiento de ESB en el estrés oxidativo en pacientes diabéticos tipo 2. El aumento en el antioxidante plasmático del glutatión y el reducido producto oxidativo fosfolipídico del malondialdehído que se informa en este estudio puede prevenir y atenuar las complicaciones vasculares (29). Además, la mejora puede potenciar la función vascular aumentando la actividad del óxido nítrico (32). Esto produce un efecto vasodilatador y, por lo tanto, permite un mejor transporte de O_2 a los músculos durante el ejercicio.

Los resultados del Estudio de Salud Cardiovascular de base comunitaria apoyan un vínculo entre la capacidad de ejercicio y la actividad cardíaca autónoma. Estos datos mostraron que un aumento en la distancia caminada se correlacionó con una mayor VFC (38). Sin embargo, este estudio no mostró tal asociación. Además, notamos que ninguno de los hallazgos sugiere cambios en la actividad cardíaca autónoma. De hecho, la VFC está asociada independientemente con la capacidad de ejercicio (31). Un aumento en el pico del VO_2 parece desempeñar un papel esencial en la mejora de la capacidad de ejercicio, que está asociada con el pico del VO_2 de tres maneras: la eficiencia cardíaca, el intercambio de gases pulmonares y la función del músculo esquelético (23). Nuestros resultados muestran que el entrenamiento de ESB durante 2 meses aumentó el pico de VO_2 . Este aumento condujo a un aumento de la capacidad de ejercicio (9). Posiblemente, un aumento en el pico de VO_2 fue el resultado de un aumento en el pico de gasto cardíaco o un aumento en la extracción de O_2 de la sangre. Además, los cambios en el músculo esquelético y el aumento del contenido arterial de O_2 podrían operar sinérgicamente (37). A medida que el transporte de O_2 y la extracción aumentan, se puede realizar ejercicio con menos fatiga. Este es un factor clave para restablecer la capacidad de ejercicio a normal en personas con sobrepeso e individuos obesos cuya capacidad de ejercicio es típicamente menor que la de sujetos de peso normal (27).

La falta de evidencia de cambios en la actividad cardíaca autónoma puede deberse, en parte, a las características de los sujetos en este estudio, como la edad, las enfermedades subyacentes, el consumo de drogas, el consumo de alcohol o el tabaquismo (16). Estos factores influyen fuertemente en el estado de salud del sujeto, incluyendo la función cardiovascular y, por lo tanto, la actividad cardíaca autónoma al inicio. Los sujetos sedentarios con sobrepeso y peso normal en el presente estudio eran jóvenes y sanos. Sus valores iniciales de presión arterial y frecuencia cardíaca estaban dentro de los rangos de referencia. En consecuencia, los cambios en la aptitud cardiorrespiratoria pueden observarse fácilmente en ausencia de cambios en la actividad cardíaca autónoma. En contraste, el último cambio podría observarse en sujetos de mayor edad que tienen enfermedades subyacentes asociadas con disfunción cardíaca autónoma, como DM o ECV (3). La falta de cambios significativos en la actividad cardíaca autónoma podría estar relacionada con el hecho de que nuestro diseño experimental se centró en investigar el efecto del peso corporal sobre la respuesta cardiorrespiratoria al entrenamiento de ejercicio. Por lo tanto, nuestro protocolo hizo más probable que observáramos el cambio en la aptitud cardiorrespiratoria y muscular. De manera similar, estudios previos no han establecido cambios significativos en la VFC después del entrenamiento aeróbico, aunque el pico de VO_2 aumentó marcadamente (8,10,35).

Este estudio demostró que la recuperación de FC y la reserva de FC tendieron a aumentar en ambos grupos después del entrenamiento de ESB, pero el cambio no fue estadísticamente significativo. Del mismo modo, hubo una tendencia a la reducción del perfil hemodinámico de los sujetos, como la FC en reposo, la PAS, la PAD y la PAM después del período de entrenamiento de ESB, pero una vez más sin significancia estadística. Estos datos reflejan una interacción equilibrada entre las actividades cardíacas simpáticas y parasimpáticas de los adultos jóvenes sedentarios que no se pudo alterar por el programa de entrenamiento de ejercicio de baja intensidad, a corto plazo. En esta ausencia de cambio cardíaco autónomo, nuestros resultados plantean la posibilidad de que el aumento de la capacidad de ejercicio en este estudio fue el resultado de la adaptación respiratoria o muscular (1,14). Esta noción está respaldada por la disminución de los valores del IEP de Borg y el IDP de los sujetos con peso normal y con sobrepeso después del período de entrenamiento de ESB de 2 meses.

Limitaciones de Este Estudio

No medimos directamente el pico de VO_2 . Sin embargo, el pico de VO_2 obtenido de la ecuación de predicción muestra la utilidad y fiabilidad del TC6M para predecir la potencia aeróbica máxima (9). Además, la baja frecuencia de entrenamiento de ejercicio (3d·sem-1) o el corto período de intervención (2 meses) podrían ser insuficientes para revelar un cambio en la actividad cardíaca autónoma. Aunque los datos de estudios previos apoyan nuestra idea de que un curso corto de entrenamiento de ejercicio aumentó la descarga parasimpática (23), una mayor frecuencia de ejercicio de 5d·sem-1 o un período de entrenamiento más largo (es decir, 3 meses o más) pueden dar lugar a tales cambios físicos y fisiológicos.

CONCLUSIONES

Los datos de este estudio sugieren que los adultos jóvenes sedentarios con sobrepeso y peso normal que recibieron entrenamiento de ESB durante 2 meses a una frecuencia de 3d·sem-1 experimentaron una capacidad de ejercicio y un pico de VO_2 significativamente mejorados sin evidencia de cambios en la actividad cardíaca autónoma. Para estudios posteriores se debería investigar el efecto de una frecuencia más alta o un período más largo de entrenamiento de ESB, especialmente con respecto a la actividad cardíaca autónoma.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue respaldado por una beca de investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud Aliadas, Universidad de Burapha, Tailandia. Agradecemos también al Grupo de Investigación y Desarrollo de Ciencias del Deporte y Ejercicio por el apoyo financiero parcial. Agradecemos al profesor Stephen E. Greenwald (Barts y La Escuela de Medicina y Odontología de Londres, Universidad Queen Mary de Londres) por la edición del texto del manuscrito y valiosas sugerencias. Finalmente, agradecemos a todos los sujetos por su generosidad y su voluntad de participar en el estudio.

Dirección de correo: Naruemon Leelayuwat, PhD, Department of Physiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University, 123 Mittrapharp Highway, Muang District, Khon Kaen 40002, Thailand, Phone: 66 43363 185 Email: naruemon.leelayuwat@gmail.com

REFERENCIAS

1. Abd El-Kader SM. (2010). Aerobic exercise training improves cardiopulmonary fitness among firefighters. *Eur J Gen Med.* 2010;7(4):352-358.
2. Andersen K, Rasmussen F, Held C, Neovius M, Tynelius P, Sundström J. (2015). Exercise capacity and muscle strength and risk of vascular disease and arrhythmia in 1. 1 million young Swedish men: Cohort study. *BMJ.* 2015;351:h4543.
3. Balcioglu AS, Müderrisoğlu H. (2015). Diabetes and cardiac autonomic neuropathy: Clinical manifestations, cardiovascular consequences, diagnosis and treatment. *World J Diabetes.* 2015;6(1):80-91.
4. Banwell C, Lim L, Seubsman SA, Bain C, Dixon J, Sleight A. (2009). Body mass index and health-related behaviours in a national cohort of 87,134 Thai open university students. *J Epidemiol Community Health.* 2009;63:366-372.
5. Barbosa Lins TC, Valente LM, Sobral Filho DC, Barbosa e Silva O. (2015). Relation between heart rate recovery after exercise testing and body mass index. *Rev Port Cardiol.* 2015;34(1):27-33.
6. Bhurosy T, Jeewon R. (2014). Overweight and obesity epidemic in developing countries: A problem with diet, physical activity, or socioeconomic status? *Sci World J.*
7. Birch SL, Duncan MJ, Franklin C. (2012). Overweight and reduced heart rate variability in British children: An exploratory study. *Preventive Medicine.* 2012;55:430-432.
8. Boutcher SH and Stein P. (1995). Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995; 70(1):75-80.
9. Burr JF, Bredin SS, Faktor MD, Warburton DE. (2011). The 6-minute walk test as a predictor of objectively measured aerobic fitness in healthy working-aged adults. *Phys Sportsmed.* 2011;39(2):133-139.
10. Catai AM, Chacon-Mikahil MP, Martinelli FS, Forti VA, Silva E, Golfetti R et al. (2002). Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men. *Braz J Med Biol Res.* 2002;35(6):741-752.
11. Chandra D, Wise RA, Kulkarni HS, Benzo RP, Criner G, Make B et al. (2012). Optimizing the 6-min walk test as a measure of exercise capacity in COPD. *Chest.* 2012;142(6): 1545-1552.

12. Ciolac EG, Greve JMD. (2011). Exercise-induced improvements in cardiorespiratory fitness and heart rate response to exercise are impaired in overweight/obese postmenopausal women. *Clinics*. 2011;66(4):583-589.
13. Davenport MH, Charlesworth S, Vanderspank D, Sopper MM, Mottola MF. (2008). Development and validation of exercise target heart rate zones for overweight and obese pregnant women. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(5):984-989.
14. Egan B, Zierath JR. (2013). Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metab*. 2013;17(2):162-184.
15. Essner A, Sjöström R, Ahlgren E, Lindmark B. (2013). Validity and reliability of Polar® RS800CX heart rate monitor, measuring heart rate in dogs during standing position and at trot on a treadmill. *Physiol Behav*. 2013;114-115:1-5.
16. Felber Dietrich D, Ackermann-Lieblich U, Schindler C, Barthélémy JC, Brändli O, Gold DR et al. (2008). Effect of physical activity on heart rate variability in normal weight, overweight and obese subjects: Results from the SAPALDIA study. *Eur J Appl Physiol*. 2008;104(3):557-565.
17. Fletcher GF, Balady G, Froelicher VF, Hartley LH, Haskell WL, Pollock ML. (1995). Exercise standards: A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*. 1995;91:580-615.
18. Gielen S, Schuler G, Adams V. (2010). Cardiovascular effects of exercise training. *Circulation*. 2010;122:1221-1238.
19. Goldstein RE. (1990). Exercise capacity. In: Walker HK, Hall WD, Hurst JW, editors. *Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations*. Boston: Butterworth Publishers, 1990, p. 60-71.
20. Gutin B, Barbeau P, Litaker MS, Ferguson M, Owens S. (2000). Heart rate variability in obese children: Relations to total body and visceral adiposity, and changes with physical training and detraining. *Obes Res*. 2000;8:12-19.
21. Hong SP, Lee YS, Lee JB, Ryu JK, Choi JY, Kim KS. (2014). Prognostic value of heart rate reserve in exercise treadmill test after coronary revascularization. *Intern Med*. 2014; 4:5.
22. Horwich TB, Leifer ES, Brawner CA, Fitz-Gerald MB, Fonarow GC. (2009). The relationship between body mass index and cardiopulmonary exercise testing in chronic systolic heart failure. *Am Heart J*. 2009;158(4 Suppl):S31-S36.
23. Hull S, Vanoli E, Adamson PB, Verrier R, Foreman R, Schwartz P. (1994). Exercise training confers anticipatory protection from sudden death during acute myocardial ischemia. *Circulation*. 1994;89:548-552.
24. Kaminsky DA, Knyazhitskiy A, Sadeghi A, Irvin CG. (2014). Assessing maximal exercise capacity: peak work or peak oxygen consumption? *Respir Care*. 2014;59(1):90-96.
25. Kaur J. (2014). A comprehensive review on metabolic syndrome. *Cardiol Res Pract*.
26. Kearns K, Dee A, Fitzgerald AP, Doherty E, Perry IJ. (2014). Chronic disease burden associated with overweight and obesity in Ireland: the effects of a small BMI reduction at population level. *BMC Public Health*. 2014;14:143.
27. Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Tulppo MP. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol*.
28. Kuehl K, Tucker A, Khan M, Goldberg P, Greene EA, Smith M. (2015). Overweight predicts poorer exercise capacity in congenital heart disease patients. *IJC Heart Vasc*. 2015; 9:28-31.
29. Leelayuwat N: (2004). Beneficial effects of alternative exercise in patients with diabetes type II [Internet]. IN TECH; © 2004-2016 [cited 2016 Oct 3]. Available from: <http://www.intechopen.com/books/type-2-diabetes/beneficial-effects-of-alternative-exercise-in-patients-with-diabetes-type-ii>.
30. Leelayuwat N, Tunkumnerdthai O, Donsom M, Punyaek N, Manimanakorn A, Kukongviriyapan U et al. (2008). An alternative exercise and its beneficial effects on glycaemic control and oxidative stress in subjects with type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pr*. 2008;82:e5-e8.
31. Leung RW, Alison JA, McKeough ZJ, Peters MJ. (2010). Ground walk training improves functional exercise capacity more than cycle training in people with chronic obstructive pulmonary disease (COPD): A randomised trial. *J Physiother*. 2010;56(2):105-112.
32. Lu DY, Yang AC, Cheng HM, Lu TM, Yu WC, Chen CH et al. (2016). Heart rate variability is associated with exercise capacity in patients with Cardiac Syndrome X. *PLoS One*. 2016;11(1):e0144935.
33. Prasad A, Andrews NP, Padder FA, Husain M, Quyyumi AA. (1999). Glutathione reverses endothelial dysfunction and improves nitric oxide bioavailability. *J Am Coll Cardiol*. 1999;34(2):507-514.
34. Prasertsri P, Roengrit T, Kanpetta Y, Tong-un T, Muchimapura S, Wattanathorn J et al. (2013). Cashew apple juice supplementation enhanced fat utilization during high-intensity exercise in trained and untrained men. *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10:13.
35. Reiling MJ, Seals DR. (1988). Respiratory sinus arrhythmia and carotid baroreflex control of heart rate in endurance athletes and untrained controls. *Clin Physiol*. 1988;8(5):511-519.
36. Ribisl PM, Lang W, Jaramillo SA, Jakicic JM, Stewart KJ, Bahnson J et al. (2007). Exercise capacity and cardiovascular/metabolic characteristics of overweight and obese individuals with type 2 diabetes: The Look AHEAD clinical trial. *Diabetes Care*. 2007; 30(10):2679-2684.
37. Routledge FS, Campbell TS, McFetridge-Durdle JA, Bacon SL. (2010). Improvements in heart rate variability with exercise therapy. *Can J Cardiol*. 2010;26(6):303-312.
38. Seyoum B, Estacio RO, Berhanu P, Schrier RW. (2006). Exercise capacity is a predictor of cardiovascular events in patients with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Vasc Dis Res*. 2006;3:197-201.
39. Soares-Miranda L, Sattelmair J, Chaves P, Duncan GE, Siscovick DS, Stein PK et al. (2014). Physical activity and heart rate variability in older adults: The Cardiovascular Health Study. *Circulation*. 2014;129(21):2100-2110.
40. Tunkamnerdthai O, Auvichayapat P, Donsom M, Leelayuwat N. (2015). Improvement of pulmonary function with arm swing exercise in patients with type 2 diabetes. *J Phys Ther Sci*. 2015;27:649-654.