

Selected Papers from Impact

Efectos de un Entrenamiento de Core de 8 semanas en la Resistencia del Core y la Economía de la Carrera

Effects of 8-Week Core Training on Core Endurance and Running Economy

Kwong-Chung Hung, Ho-Wa Chung, Clare Chung-Wah Yu, Hong-Chung Lai y Feng-Hua Sun

RESUMEN

El propósito de este estudio fue examinar los efectos de un entrenamiento de core de 8 semanas en la resistencia del core y la economía de la carrera en deportistas universitarios. Veintiún deportistas universitarios masculinos fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: un grupo de control (CON) ($n = 10$) y un grupo de entrenamiento de core (CT) ($n = 11$). Ambos grupos mantuvieron su entrenamiento habitual, mientras que el CT asistió a 3 sesiones adicionales de entrenamiento de core por semana durante 8 semanas. Los participantes fueron evaluados antes y después del programa de entrenamiento usando el test de organización sensorial (SOT), el test de plancha para resistencia específica del deporte (SEPT) y el test de carrera incremental de 4 etapas (TIRT). En comparación con el pre-test, se observaron mejoras significativas en el rendimiento post-test del SOT ($78,8 \pm 4,8$ vs. $85,3 \pm 4,8$, $p = 0,012$) y del SEPT ($193,5 \pm 71,9$ s vs. $241,5 \pm 98,9$ s, $p = 0,001$) sólo en el CT. En el TIRT, los valores de frecuencia cardíaca post-test fueron más bajos que los valores pre-test en el CT en las 3 primeras etapas. En la etapa 4, el consumo de oxígeno (VO_2) post-test fue inferior al del pre-test en el CT (VO_2 : $52,4 \pm 3,5$ vs. $50,0 \pm 2,9$ ml/kg/min, $p = 0,019$). Estos resultados revelan que el entrenamiento de core de 8 semanas puede mejorar el equilibrio estático, la resistencia del core y la economía de la carrera en deportistas universitarios.

Palabras Clave: CORE, entrenamiento, resistencia, economía de carrera

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effects of 8-week CORE training on CORE endurance and running economy in college athletes. Twenty-one male college athletes were randomly divided into 2 groups: a control group (CON) ($n = 10$) and a CORE training group (CT) ($n = 11$). Both groups maintained their regular training, whereas CT attended 3 extra CORE training sessions per week for 8 weeks. The participants were assessed before and after the training program using sensory organization test (SOT), sport-specific endurance plank test (SEPT) and 4-stage treadmill incremental running test (TIRT). Compared with the pre-test, significant improvements were observed in post-test SOT (78.8 ± 4.8 vs. 85.3 ± 4.8 , $p = 0.012$) and SEPT (193.5 ± 71.9 s vs. 241.5 ± 98.9 s, $p = 0.001$) performances only in CT. In the TIRT, the post-test heart rate values were lower than the pre-test values in CT in the first 3 stages. In stage 4, the post-test oxygen consumption (VO_2) was lower than that in pre-test in CT (VO_2 : 52.4 ± 3.5 vs. 50.0 ± 2.9 ml/kg/min, $p = 0.019$). These results reveal that 8-week CORE training may improve static balance, CORE endurance, and running economy in college athletes.

INTRODUCCIÓN

Se ha sugerido que los músculos del core no sólo protegen la columna vertebral de la fuerza excesiva, sino que también desempeñan un papel importante en la estabilización del cuerpo y en la generación de fuerza durante las actividades deportivas [1]. El entrenamiento de core se ha convertido en un ejercicio común tanto en la rehabilitación como en el acondicionamiento físico. Por ejemplo, las investigaciones han demostrado que el entrenamiento de core puede facilitar la recuperación de una lesión y aliviar el dolor lumbar crónico [2-4].

La estabilidad, la fuerza y la resistencia del core son las habilidades más importantes del mismo que aseguran la estabilidad de la columna vertebral para la producción de fuerza y la prevención de lesiones [5]. La estabilidad del core se refiere a la estabilidad de la columna vertebral [5] y determina la eficiencia de la función biomecánica para maximizar la generación de fuerza. Okada et al. [6] investigan la relación entre la estabilidad del core y el movimiento funcional y el rendimiento. Los resultados muestran que la estabilidad del core no es un fuerte indicador del movimiento funcional del cuerpo (como lo prueba la pantalla de movimiento funcional) o del rendimiento deportivo (como lo prueba el lanzamiento de la medicine ball hacia atrás, la T-run y la sentadilla de una sola pierna). La fuerza del core se refiere a la capacidad muscular para estabilizar la columna vertebral mediante fuerzas contráctiles y presión intraabdominal, controlando activamente la estabilidad de la columna vertebral mediante la coactivación de los músculos del tronco [5]. Sin embargo, se ha sugerido que la fuerza excesiva del core causa una mayor inestabilidad del mismo [5].

La resistencia del core es el componente más crucial en el entrenamiento del mismo [5] porque ayuda a los músculos del tronco a mantener una posición eficiente. Barati et al. [7] indican que la resistencia del core es importante para la estabilidad de la columna vertebral durante el ejercicio prolongado. Koblbauer et al. [8] sugieren que existe una relación positiva entre la resistencia del core y la cinemática de la carrera. Tong et al. [9] indican que una carrera máxima de alta intensidad podría inducir la fatiga muscular del core. Por lo tanto, mejorar la resistencia del core puede beneficiar el rendimiento de la carrera.

La economía de la carrera es un tema controvertido en el entrenamiento de core. Los estudios han demostrado que la función del core está relacionada con la cinemática de la carrera y el trabajo respiratorio [8,10,11]. Los músculos del core permiten una producción óptima de la fuerza para controlar, soportar y mover las extremidades [1]. El ejercicio adecuado de core puede resultar en una mejora de la resistencia del mismo, de la respiración y de la eficiencia del movimiento [12]. Sin embargo, no todos los estudios han apoyado estos hallazgos. Por ejemplo, un estudio reveló que el entrenamiento de core de 6 semanas no tuvo una mejora significativa en el consumo máximo de oxígeno (VO₂max), en la economía o en la postura de la carrera [13]. Sato et al. [14] observaron una mejora significativa en el rendimiento de la carrera después del entrenamiento de core, pero no se observó ninguna mejora en la cinética de la carrera. Más recientemente, Tong et al. [10] mostraron mayores mejoras en la resistencia del core, la economía y el rendimiento de la carrera después de 6 semanas de entrenamiento de core. La inconsistencia de los hallazgos de estos estudios puede provenir de las diferencias en los programas de entrenamiento de core, la duración del entrenamiento o incluso los participantes. Debido a los limitados estudios y a los controvertidos hallazgos en este tema, el objetivo de este estudio fue investigar el impacto del entrenamiento de core de 8 semanas en la resistencia del mismo y en la economía de la carrera. La hipótesis fue que un entrenamiento de core de 8 semanas puede mejorar la resistencia de éste y la economía de la carrera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Un total de 25 deportistas universitarios varones con al menos 3 años de experiencia en entrenamiento deportivo regular (generalmente 3 días a la semana) fueron reclutados de diferentes equipos deportivos universitarios, incluyendo carreras de larga distancia, fútbol, baloncesto y rugby. Entre los 25 participantes, sólo 21 (CON: n = 10; CT: n = 11) completaron la sesión post-test y sólo se incluyeron los datos de estos participantes para el análisis de los datos. Las lesiones durante el período experimental causaron que 4 participantes se retiraran. Las participantes mujeres fueron excluidas debido a la potencial influencia de la menstruación. Todos los participantes recibieron una sesión con información verbal y escrita sobre el protocolo del estudio y los posibles riesgos. Se completó y se firmó un formulario de consentimiento y un

cuestionario de preparación para la actividad física antes de los experimentos. Se pidió a los participantes que mantuvieran su ingesta alimentaria habitual, su estilo de vida y sus modelos de entrenamiento. El ejercicio vigoroso, el alcohol y la cafeína se restringieron 48 horas antes de los tests de laboratorio. Se les pidió a los participantes que no comieran durante al menos dos horas antes de cada test. La aprobación ética de este estudio se obtuvo del Comité de Ética de Investigación en Humanos de la Universidad de Educación de Hong Kong.

Diseño Experimental

Los participantes con características físicas y antecedentes de entrenamiento coincidentes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: un grupo de control (CON) y un grupo de entrenamiento de core (CT) (Tabla 1). Para averiguar la eficacia de la intervención del entrenamiento de core sobre la resistencia del mismo y la economía de la carrera, los participantes del CT completaron un entrenamiento de core de 8 semanas, que incluyó la fase de fuerza fundamental (semana 1 a 3), la fase de estabilización (semana 4 a 6) y la fase de fuerza funcional (semana 7 a 8). Aparte del entrenamiento de core adicional, todos los participantes mantuvieron su entrenamiento habitual. Durante el período de 8 semanas, los participantes no recibieron otro tipo de entrenamiento de core o entrenamiento específico para la carrera. Para monitorear el estado de entrenamiento de los dos grupos a lo largo de las 8 semanas, se pidió a todos los participantes que completaran un registro de entrenamiento para registrar sus horas y actividades diarias de entrenamiento.

Tabla 1. Características físicas y antecedentes de entrenamiento de los participantes en el CON y el CT.

	CON (n = 10)	CT (n = 11)
Altura	174.0±4.3	176.0±7.2
Peso	69.0±6.3	65.9±4.8
VO ₂ max	56.4±5.4	58.3±4.7
Horas de entrenamiento por semana	11.3±6.2	9.5±3.6

Los valores son media + SD; CON: grupo control, n = 10; CT: grupo de entrenamiento de core, n = 11; No hubo diferencias significativas en ninguna variable entre CON y CT (p > 0,05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213158.t001>

Procedimiento

El diagrama de flujo del experimento se presenta en la Fig. 1. Se pidió a todos los participantes que asistieran a una sesión informativa antes del pre-test. Tanto en las sesiones pre-test como en las post-test, los participantes debían realizar un test de organización sensorial (SOT), un test de plancha para resistencia específica del deporte (SEPT) y un test de carrera incremental de 4 etapas (TIRT) en el laboratorio. Ambos grupos siguieron el mismo orden de tests: el SOT, seguido por el SEPT y luego el TIRT. Para minimizar el impacto de la fatiga en el rendimiento, los participantes tomaron un descanso de 5 minutos después del SOT y de 15 minutos después del SEPT. Todos los participantes deben familiarizarse con los procedimientos y requisitos de todos estos tests antes de la sesión pre-test.

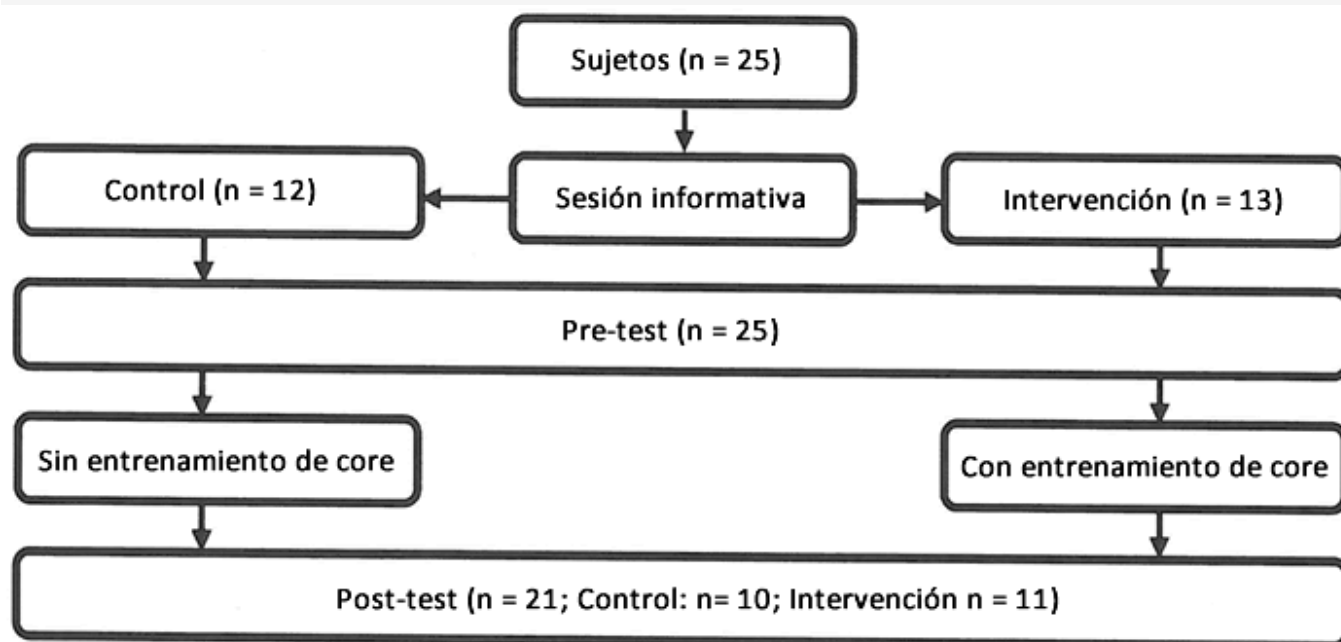


Figura 1. Diagrama de flujo del experimento.

El SOT se realizó utilizando posturografía dinámica computarizada (CDP; Smart Equitest, NeuroCom International Inc., Clackamas OR, EEUU). La CDP puede identificar y cuantificar las funciones sensoriales (visuales, vestibulares y somatosensoriales) y motoras para evaluar el control del equilibrio estático [15]. El equilibrio estático está fuertemente correlacionado con la resistencia del core [7]. El SOT tiene una validez y fiabilidad de test-retest aceptable (la correlación intraclass (ICC) fue de 0,35 a 0,79 en 6 sesiones) y se utiliza para probar la organización sensorial y el control del equilibrio en deportistas amateur [16,17].

Durante el SOT, todos los participantes se pararon descalzos sobre una plataforma de fuerza doble (46 cm × 46 cm). Se proporcionó un arnés para mayor seguridad. El ancho del escalón durante la sesión de pie se estandarizó de acuerdo con la altura de los participantes. Luego fueron sometidos a 6 condiciones de perturbaciones visuales y de superficie de apoyo. Las condiciones 1, 2 y 3 incluyeron ojos abiertos, ojos cerrados y ojos abiertos en un entorno visual referido al balanceo, respectivamente. Las condiciones 4, 5 y 6 se realizaron en una plataforma referida al balanceo con los ojos abiertos, los ojos cerrados y los ojos abiertos en un entorno visual referido al balanceo, respectivamente. Cada condición fue probada 3 veces y cada test duró 20 segundos. Después del test, se obtuvo un puntaje de equilibrio para cada prueba y rendimiento general. El puntaje de equilibrio general representó el rendimiento de equilibrio de los participantes.

Antes del SEPT, a todos los participantes se les mostró la postura correcta de la plancha, es decir, el cuerpo se apoya sobre las palmas de las manos, los codos y los dedos de los pies con la columna vertebral en una posición neutra, manteniendo la cabeza, el torso y las piernas alineadas [11]. El SEPT incluyó 4 variaciones de plancha: plancha básica, levantamiento alternado de brazos, levantamiento alternado de piernas y levantamiento cruzado de piernas y brazos. Las etapas del SEPT fueron las siguientes: (A) Sostener la plancha básica durante 60 segundos; (B) levantar el brazo derecho del suelo durante 15 segundos; (C) bajar el brazo derecho y levantar el brazo izquierdo durante 15 segundos; (D) bajar el brazo izquierdo y levantar la pierna derecha durante 15 segundos; (E) bajar la pierna derecha y levantar la pierna izquierda durante 15 segundos; (F) levantar la pierna izquierda y el brazo derecho durante 15 segundos; (G) bajar la pierna izquierda y el brazo derecho y levantar la pierna derecha y el brazo izquierdo durante 15 segundos; (H) volver a la plancha básica durante 30 segundos; y (I) repetir las etapas de la (A) a la (H) hasta que los participantes fallen al mantener la postura de la plancha. Durante el SEPT, se utilizó electromiografía de superficie (sEMG) para medir el grado de activación muscular del core en el recto abdominal (RA), el oblicuo externo (EO) y los erectores de la columna (ES). Los electrodos se colocaron según un estudio previo [18]. Se colocó un par de electrodos a 3 cm del ombligo para el RA. Se colocó un par de electrodos al medio entre la espina ilíaca antero-superior y las costillas inferiores para el EO. Los electrodos para los ES se colocaron a 2 cm de distancia del espacio entre L4-L5. Se utilizó un grabador sEMG (BTS FREEEMG 300, BTS Bioengineering Corp., Brooklyn, NY, EEUU) para registrar la señal sEMG. Todas las señales EMG se recogieron a 1000 Hz y se filtraron utilizando técnicas de filtro paso banda estándar con cortes de 20-350 Hz. Las señales EMG en bruto se procesaron y analizaron con el software del sistema Myolab 2.2 (BTS, MI, Italia). Durante el procesamiento de datos, las señales EMG fueron rectificadas de onda completa y procesadas por el algoritmo de la media cuadrática. Los valores promedio del EMG fueron analizados

cada 15 segundos durante el SEPT.

El TIRT consistió en un test incremental de velocidad-VO₂ y un test de VO₂max. La pendiente de la cinta caminadora se estableció en 1%, porque el consumo de oxígeno asociado con una pendiente de 1% es similar al asociado con correr al aire libre a velocidades entre 10,5 y 18,0 km/h [19]. Los participantes comenzaron el test de velocidad-VO₂ con un calentamiento de 6 minutos a 8,0 km/h. Luego corrieron por 4 etapas incrementales a velocidades de 7,0; 9,0; 11,0 y 13,0 km/h. Cada etapa duró 4 minutos. Después del test incremental, se proporcionó un descanso de 10 minutos para prepararse para el test de VO₂max. En el test de VO₂max, los participantes comenzaron a 10,0 km/h y aumentaron la velocidad a 1,0 km/h por minuto hasta alcanzar los 13,0 km/h. Cuando la velocidad se estableció en 13,0 km/h, la pendiente de la cinta se incrementó en un 1% por minuto hasta que se alcanzó el VO₂max. El valor de VO₂máx fue determinado por 3 criterios: (A) Relación de Intercambio Respiratorio > 1,1; (B) Frecuencia Cardíaca (HR) $\pm$ 10 HRmax estimada para la edad; y (C) falla del participante para continuar. Todos los parámetros de ventilación y de intercambio de gases pulmonares se midieron a través de un sistema de ergospirometría Cortex (pre-test: METAMAX 3B; post-test: METALYZER II, Alemania). Los datos recolectados se ajustaron a 30 segundos para el cálculo.

La concentración de lactato en sangre (LA), la HR y el índice del esfuerzo percibido (RPE) se midieron en 30 segundos al final de cada etapa del TIRT. El LA se midió con un analizador de lactato portátil (Lactate Plus Meter, Nova Biomedical, MA, EEUU). La HR se midió mediante un monitor de HR (sensor de frecuencia cardíaca H7, Polar, Finlandia). La creatina quinasa (CK) fue recolectada después del TIRT y medida por un analizador químico (Reflotron, Oberoi Consulting Ltd, Reino Unido).

En general, los programas de entrenamiento de core deben incluir entrenamiento de 2 a 4 veces por semana durante 4 a 8 semanas [20,21]. Las variaciones de plancha, crunch y torsión de tronco se utilizan comúnmente como ejercicios de core. Aunque las funciones del core en todos los deportes son similares, es decir, la generación/transferencia de fuerzas y la estabilización del cuerpo, no hay consenso sobre cuál es el protocolo de ejercicios de core más eficaz para mejorar las funciones del mismo. El programa de entrenamiento de core en este estudio consistió en 3 partes: fortalecimiento fundamental (3 semanas), estabilización (3 semanas) y fortalecimiento funcional (2 semanas). El CT tuvo 3 sesiones de entrenamiento por semana, con 2 sesiones en el laboratorio y 1 sesión en casa. Cada sesión incluyó 4 ejercicios y duró 30 minutos. Todas las sesiones fueron instruidas por un entrenador personal certificado. Las Mini-bands, las air pads y las pelotas BOSU ayudaron en ciertas fases del entrenamiento de core. El ejercicio en casa requería que los participantes realizaran una plancha prono 3 veces durante 1 minuto cada una. Los detalles del diseño del programa de entrenamiento se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Diseño del programa de entrenamiento.

Exercise Protocol	Reps/Time	Assisted Equipment	Sets
Warm-up Exercise			
Dead-bug Exercise	30	Mini-band	1
Week 1 to 3 (Fundamental Strength)			
Crunch	20(week1-2) / 25(week 3)	/	3
Back Bridge	20(week1-2) / 25(week 3)	/	3
Plank	45s (week1-2) / 60s (week 3)	Mini-band	3
Side Plank with leg raise	30s (week1-2) / 45s (week 3)	/	3
Week 4 to 6 (Stabilization)			
Crunch	25	Air pad	3
Split Leg Bridge	20 per side	/	3
Plank with AP/BOSU and band	60 seconds	Mini-band & BOSU	3
Side Plank with leg raise	30 seconds	Air pad	3
Week 7 to 8 (Functional Strengthening)			
Mountain Climber	40	Mini-band	3
Pallof Press	60 seconds	BOSU	3
Split Leg Bridge	25	Air pad	3
Plank Variation	30s per type (5 types)	/	2

* AP: Air Pad; BOSU: BOSU Balance Trainer

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213158.t002>

El objetivo principal de la fase de fuerza fundamental fue aumentar la fuerza básica del core, y el entrenamiento se centró en la activación muscular del core y el control del movimiento. La fase de estabilización se centró en la estabilización del core y del cuerpo. El nivel de dificultad se aumentó con superficies inestables o movimientos unilaterales. En la fase de fortalecimiento funcional, el programa de entrenamiento siguió la definición de entrenamiento funcional, abarcando una gama de métodos para ayudar a aplicar el entrenamiento a la competición o a una función específica [22], y se centró en el anti-movimiento de la función del core [23].

Análisis Estadístico

Todos los datos se presentaron como media $\pm$ SD y se analizaron mediante IBM SPSS Statistics (versión 21, IBM Corp., NY, EEUU). La normalidad se verificó utilizando el test de Kolmogorov-Smirnov, y se verificaron los mismos supuestos de varianza mediante el test de Levene. Para las características físicas iniciales, se utilizó un t-test independiente para comparar la diferencia entre los grupos. Los datos cruzados para las medidas repetidas se analizaron mediante el análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) bidireccional (Grupo $\times$ Tiempo). Se aplicó un test post hoc de Bonferroni para determinar la diferencia entre los grupos o los cambios dentro del grupo desde el pre-test hasta el post-test. El nivel significativo se definió como $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

No se observaron diferencias entre los dos grupos (CON vs. CT) en altura ($174 \pm 4,3$ vs. $176 \pm 7,2$ cm; $p = 0,386$), peso ($69,0 \pm 6,3$ vs. $65,9 \pm 4,8$ kg; $p = 0,125$), VO₂max ($56,4 \pm 5,4$ vs. $58,3 \pm 4,7$ mL/kg/min; $p = 0,193$), o rendimiento del SOT ($80,3 \pm 7,1$ vs. $79,1 \pm 4,7$; $p = 0,899$) antes de la intervención. Además, no se observó ninguna diferencia entre los dos

grupos (CON vs. CT) en las horas de entrenamiento por semana ($11,3 \pm 6,2$ vs. $9,5 \pm 3,6$ h; $p = 0,427$), excluyendo el entrenamiento de core en el CT.

Test de Cinta Caminadora

La Tabla 3 presenta un resumen de los datos del TIRT. No se observó ningún efecto de interacción (grupo y tiempo) para los valores de HR, LA, RPE o VO₂. En el CT, los valores de FC observados en el post-test fueron inferiores a los del pre-test de las 3 primeras etapas (ST1: $p = 0,009$; ST2: $p = 0,006$; ST3: $p = 0,027$). En el CON, sólo el valor de la HR durante la etapa 1 fue menor que en el pre-test ($p = 0,049$). Además, en el CT, el valor de VO₂ post-test en la fase 4 disminuyó, en comparación con el valor pre-test ($p = 0,019$). Sin embargo, en el CON, no se encontró ninguna diferencia en el valor de VO₂ entre el pre-test y el post-test en ninguna de las etapas. En comparación con los datos pre-test, los valores del LA post-test aumentaron en el estadio 1 en el CT, pero disminuyeron en los estadios 3 y 4 en el CON. La única diferencia en el RPE entre los pre- y post-tests se encontró en el estadio 2 del CT.

Tabla 3. Resumen de los resultados del test en la cinta caminadora.

Stage:	Pre-training Test					Post-training Test				
	1	2	3	4	VO _{2max}	1	2	3	4	VO _{2max}
VO ₂ (ml/kg/min)										
CON	30.25±2.82	37.71±2.36	42.13±5.22	47.63±5.48	56.40±5.42	29.36±1.9	37.81±2.26	43.06±2.04	47.39±3.04	53.60±4.64
CT	30.12±3.22	38±3.11	46.25±3.8	52.38±3.54	58.27±4.73	32.65±4.34	37.80±2.94	46.45±5.32	49.98±2.89*	55.73±5.11
HR (bpm)										
CON	136.4±15.2	153.8±10.9	171.2±11.9	182±9.3	192.5±8.9	124.9±17.7*	150.8±10	169.5±9.8	181.3±5.8	193.2±6.7
CT	142.3±14.6	161.6±15.8	176.1±14.2	185±14.9	194.1±9.4	132.2±13.9*	151.8±14.5*	170.3±14.8*	182±13.2	193.3±7.2
RPE										
CON	1.7±0.95	3±1.25	4±0.94	6.6±1.71	/	1.3±0.92	3.4±0.69	4.7±1.34	6.3±2.11	/
CT	0.7±0.54	2.1±1.17	3.7±1.57	6.4±2.32	/	1±0.91	2.8±1.7*	4.7±2.31	6.9±2.23	/
LA (mmol)										
CON	2.27±0.99	2.75±1.23	4.36±1.31	7.91±2.59	12.52±2.24	2.41±0.95	2.3±0.92	3.84±1.23*	6.65±1.77*	12.02±2.72
CT	1.83±0.54	2.37±0.7	4±1.45	7.07±2.63	10.76±2.45	2.44±0.78*	2.45±1.11	4.09±1.93	6.93±3.29	10.84±1.57

CON: control group, n = 10; CT: core training group, n = 11.

* $p < 0.05$ pre-test vs. post-test

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213158.t003>

Test de Organización Sensorial

La puntuación media del SOT aumentó en el CT después de 8 semanas de entrenamiento de core (pre-test vs. post-test: $78,8 \pm 4,83$ vs. $85,3 \pm 4,83$, $p = 0,02$, Fig 2), pero no en el CON (pre-test vs. post-test: $80,3 \pm 7,12$ vs. $83,2 \pm 7,08$, $p = 0,184$). Sin embargo, no se observó ningún efecto de interacción o efecto de grupo en el ANOVA bidireccional de medidas repetidas ($F = 2,35$; $p = 0,16$).

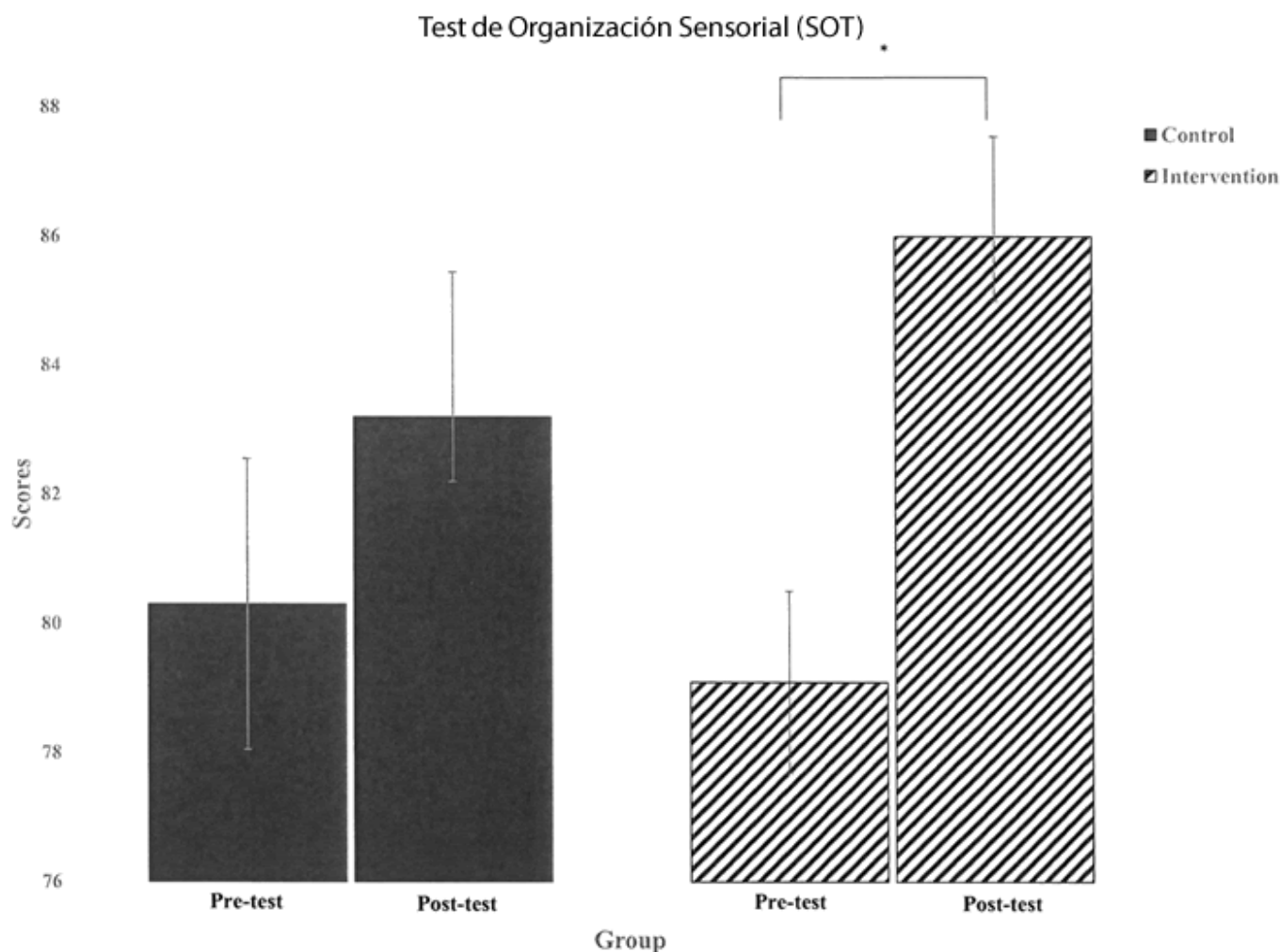
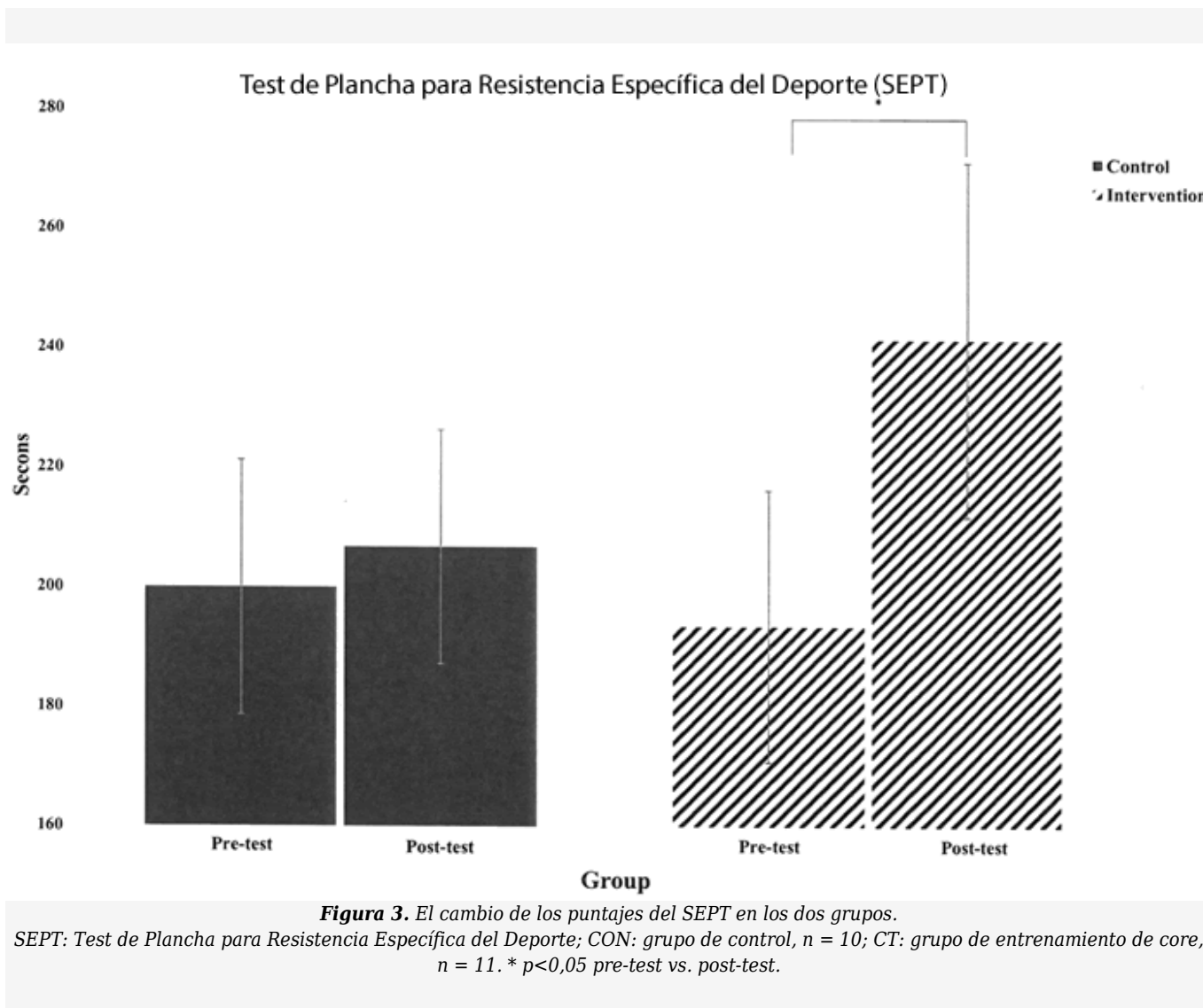


Figura 2. El cambio de los puntajes del SOT en los dos grupos.

SOT: Test de Organización Sensorial; CON: grupo de control, $n = 10$; CT: grupo de entrenamiento de core, $n = 11$. * $p < 0,05$ pre-test vs. post-test.

Test de Plancha para Resistencia Específica del Deporte

Los resultados no revelaron diferencias en los puntajes del SEPT (Fig. 3) o en los datos del sEMG entre los dos grupos en el ANOVA bidireccional de medidas repetidas. Además, no se observó ningún efecto de interacción (grupo y tiempo) ($F = 4,014$; $p = 0,076$). En comparación con los datos pre-test, el puntaje medio post-test del SEPT aumentó en el CT después de 8 semanas de entrenamiento de core (pre-test vs. post-test: $193,5 \pm 71,9$ vs. $241,5 \pm 93,9$ s, $p = 0,01$), pero no en el CON (pre-test vs. post-test: $199,9 \pm 67,3$ vs. $206,7 \pm 61,9$ s, $p = 0,720$). Los datos del sEMG indicaron que los ES derechos (pre-test vs. post-test: $0,0145 \pm 0,0118$ vs. $0,0321 \pm 0,0387$ μV , $p = 0,005$) y los ES izquierdos (pre-test vs. post-test: $0,0197 \pm 0,0202$ vs. $0,0327 \pm 0,0370$ μV , $p = 0,044$) fueron más activados en el post-test que en el pre-test en el CT. No se encontraron diferencias en el RA derecho (pre-test vs. post-test: $0,0868 \pm 0,091$ vs. $0,0892 \pm 0,091$ μV , $p = 0,85$), el RA izquierdo (pre-test vs. post-test: $0,0664 \pm 0,0556$ vs. $0,0823 \pm 0,0659$ μV , $p = 0,32$), el EO derecho (pre-test vs. post-test: $0,0477 \pm 0,0222$ vs. $0,0585 \pm 0,0278$ μV , $p = 0,356$) y el EO izquierdo (pre-test vs. post-test: $0,0364 \pm 0,0293$ vs. $0,0924 \pm 0,0846$ μV , $p = 0,085$) para el CT. No se encontraron diferencias en todos los datos sEMG entre los pre- y post-tests en el CON.



DISCUSIÓN

El principal hallazgo de esta investigación es que 8 semanas de entrenamiento de core pueden mejorar la resistencia del mismo y la economía de la carrera. En comparación con el pre-test, varios indicadores incluyendo VO₂, HR, puntaje del SOT y puntaje del SEPT mejoraron después del entrenamiento de core en el CT, pero no se observaron diferencias en estos indicadores en el CON.

La economía de la carrera se refiere a la energía requerida (normalmente inferida a partir del VO₂) para mantener una velocidad de carrera constante. En este estudio, el TIRT se adopta para medir la diferencia en el gasto energético después de 8 semanas de entrenamiento de core para el mismo ejercicio submáximo, ya que el gasto energético y el consumo de oxígeno pueden reflejar con precisión el metabolismo energético [24]. En ambos grupos se aplicaron dos protocolos idénticos del test de cinta caminadora pre- y post-entrenamiento, por lo tanto, los cambios en el VO₂ pueden reflejar cambios en la economía de la carrera. Este estudio encontró que el valor post-test del VO₂ en el estadio 4 era menor que el del pre-test en el CT (Tabla 3). Al comparar los valores pre-test del VO₂ en el CON y el CT, las diferencias porcentuales en el valor post-test del VO₂ en la etapa 4 fueron -0,5% y -4,6%, respectivamente. Esto indica que la economía de la carrera mejoró después del programa de entrenamiento de core de 8 semanas adoptado en este estudio.

Este hallazgo es consistente con el de un estudio anterior, en el que la economía de la carrera mejoró significativamente a la velocidad del inicio de la acumulación de lactato en la sangre para la carrera en cinta caminadora después de 6 semanas

de entrenamiento de core [10]. Aunque la disminución del VO₂ se encontró sólo en el estadio 4 (alrededor del 90% de VO₂máx) en el CT, los valores de la FC para los tres primeros estadios fueron más bajos en el post-test que en el pre-test en este grupo, lo que puede indicar la mejora en la economía de la carrera para el ejercicio de baja a moderada intensidad. En particular, el VO₂max no cambió significativamente después de la intervención en ninguno de los dos grupos, lo cual es consistente con el hallazgo de un estudio previo realizado por Stanton et al. [13], quienes no observaron mejoría en el VO₂max a después de 6 semanas de entrenamiento de core. Estos resultados sugieren que de 6 a 8 semanas de entrenamiento de core pueden no aumentar el VO₂max, pero pueden mejorar la economía de la carrera, lo que puede beneficiar el rendimiento de la carrera. Investigaciones anteriores también sugirieron que los músculos del core se utilizan para optimizar la economía de la carrera durante el ejercicio de intensidad submáxima [1]. Además, debido al efecto del entrenamiento que incluye una mejor conexión de las extremidades inferiores y superiores [1,20], la fuerza muscular del core puede mejorar después de 8 semanas de entrenamiento de fuerza funcional en el presente estudio. La mejora de la fuerza muscular del core también puede explicarse por la mejora de la coordinación intermuscular después del entrenamiento de fuerza funcional [25]. Por lo tanto, las dos funciones principales de los músculos del core - transferencia de la fuerza y estabilización del cuerpo - pueden mejorarse para optimizar la eficiencia mecánica y beneficiar la economía de la carrera. Cabe señalar que, aunque la duración de los programas de entrenamiento de core fue similar entre nuestro estudio (8 semanas) y los estudios anteriores (6 semanas), los participantes y los protocolos de entrenamiento fueron diferentes entre estos estudios. En un estudio [10], se reclutaron corredores recreativos adultos y se adoptó un programa de entrenamiento muscular inspiratorio simultáneo. Mientras que en otro estudio [13], participaron jóvenes deportistas y se utilizó el balón Suizo en el programa de entrenamiento de core. Diferentes programas de entrenamiento pueden afectar los resultados finales, por ejemplo, se ha sugerido que el ejercicio de estabilización tiene un efecto específico sobre el equilibrio estático y dinámico, el test de Cooper y el salto de rebote, en comparación con el ejercicio convencional de tronco [26]. Por lo tanto, parece que aún se necesitan más estudios antes de llegar a una conclusión firme.

Otro propósito del presente estudio fue investigar el efecto del entrenamiento de core de 8 semanas sobre la resistencia del mismo. El SEPT es un método válido, fiable y práctico para evaluar la resistencia del core entre los deportistas, ya que tiene una excelente fiabilidad de test-retest (ICC: 0,97) [18]. También se ha demostrado que este test está correlacionado con el Yo-Yo test de recuperación intermitente, el test de Cooper y el test de agilidad en jugadores de fútbol adolescentes [27]. El rendimiento del SEPT mejoró en el CT pero no en el CON (Fig. 3), lo que indica una mejoría en la resistencia del core después del entrenamiento del mismo. Los datos del sEMG también sugirieron que se indujeron más activaciones musculares en los ES durante el SEPT en el grupo CT después del programa de entrenamiento de core, aunque no se observó un resultado similar en el RA y el EO en el presente estudio. Un estudio anterior reveló que entre el 55% y el 58% de las fibras musculares de los abdominales son fibras tipo I que se asocian con la resistencia muscular [28]. Por lo tanto, es posible que el entrenamiento de core mejore específicamente la resistencia del mismo. Sin embargo, esto puede no ser causado por el aumento de las activaciones musculares abdominales. Las investigaciones sugieren que una pobre resistencia del core puede afectar negativamente a la cinemática de la carrera, y que la incapacidad de mantener la posición del tronco aumenta la carga de las extremidades inferiores durante la carrera de larga distancia [8]. Además, Tong et al. [10] investigaron el efecto potencial de la fatiga muscular del core durante la carrera de alta intensidad y encontraron que la fatiga muscular del core afectaba fuertemente el rendimiento de la carrera de alta intensidad (85% VO₂max). Por lo tanto, es crucial para los corredores mejorar la resistencia del core a través de un entrenamiento regular.

Se establecieron dos consideraciones al diseñar el programa de entrenamiento de core: (A) el desarrollo de músculos del core estables y la mejora de la resistencia del core, y (B) el establecimiento del control motor de los músculos del core para proporcionar una base suficiente para la generación y transferencia de la fuerza. La creación de una estabilidad suficiente de la columna vertebral depende no sólo de la mejora de la fuerza muscular, sino también de técnicas estabilizadoras como el bracing abdominal, que pueden aprovechar el efecto de palanca que proporciona el brazo de movimiento [11]. En un programa integral, las superficies inestables deben incluirse porque la estabilidad de la columna vertebral es necesaria para la ejecución eficiente de las tareas físicas [28,29]. Por lo tanto, este estudio adoptó un programa de entrenamiento de core que prescribió el ejercicio de calentamiento de bicho muerto, que puede activar casi todos los músculos globales del core [30], y utilizó equipamiento con superficies inestables para aumentar la activación de los músculos del core para la estabilización del mismo [31]. Además del rendimiento del SEPT, la puntuación del SOT mejoró después del entrenamiento de core en el CT, pero no en el CON (Fig. 1). La función efectiva de los músculos del core puede reducir el movimiento excesivo de las extremidades durante el ejercicio, porque la activación proximal del core mejora la eficiencia de la función del segmento distal. Esto puede ser causado por la mayor precisión y estabilidad de las extremidades distales. Los músculos del core proporcionan estabilización segmentaria de una sola articulación, lo que permite que los músculos de varias articulaciones trabajen más eficientemente para controlar el movimiento de la columna vertebral [32]. Por lo tanto, estos resultados sugieren que el programa de entrenamiento de core utilizado en el presente estudio beneficia tanto el equilibrio corporal como la resistencia del core.

Existen varias limitaciones en el presente estudio. En primer lugar, los valores absolutos se utilizaron para los datos del sEMG sin normalización por contracción máxima voluntaria (MVC), lo que puede afectar ligeramente la fiabilidad de los datos del sEMG. En segundo lugar, sólo se reclutaron participantes masculinos de varios equipos deportivos universitarios

diferentes. En tercer lugar, la cinética y la cinemática no fueron investigadas durante la carrera, lo que puede limitar la aplicación del presente estudio. Cuarto, algunos participantes se retiraron del estudio debido a una lesión. Además, una limitación inesperada ocurrió durante este estudio. El sensor METAMAX 3B falló durante el experimento. Un espirómetro similar, METALYZER II, fue sustituido por el METAMAX 3B. A pesar de las limitaciones mencionadas anteriormente, los resultados pueden proporcionar información valiosa sobre los beneficios potenciales del entrenamiento de core para la resistencia de éste y la economía de la carrera. Se necesitan estudios futuros para aclarar si el entrenamiento de core puede beneficiar a los deportistas de élite en la resistencia del core y en la economía de la carrera, especialmente para las deportistas femeninas. También, deberían incluirse más mediciones de la cinética y la cinemática para proporcionar información más valiosa. Además, se debe realizar la normalización para medir las activaciones musculares del core cuando se utilizan los datos de sEMG.

CONCLUSIÓN

En conclusión, 8 semanas de entrenamiento de core pueden mejorar el equilibrio estático, la resistencia del core y la economía de la carrera de los deportistas universitarios masculinos. Se podrían realizar tests de campo para investigar directamente el efecto del entrenamiento de core en el rendimiento deportivo específico.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a todos los participantes y estudiantes voluntarios que colaboraron en este estudio.

REFERENCIAS

1. Kibler WB, Press J, Sciascia A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*. 2006;36(3):189-98. [pmid:16526831](#)
2. Chung S, Lee J, Yoon J. (2013). Effects of stabilization exercise using a ball on multifidus cross-sectional area in patients with chronic low back pain. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2013;12(3):533-41.
3. Kline JB, Krauss JR, Maher SF, Qu X. (2013). Core strength training using a combination of home exercises and a dynamic sling system for the management of low back pain in pre-professional ballet dancers: A case series. *Journal of Dance Medicine & Science*. 2013;17(1):24-33.
4. Macedo LG, Maher CG, Latimer J, McAuley JH. (2009). Motor control exercise for persistent, nonspecific low back pain: A systematic review. *Physical Therapy*. 2009;89(1):9-25. [pmid:19056854](#)
5. Faries MD, Greenwood M. (2007). Core training: Stabilizing the confusion. *Strength & Conditioning Journal*. 2007;29(2):10-25.
6. Okada T, Huxel KC, Nesser TW. (2011). Relationship between core stability, functional movement, and performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(1):252-61.
7. Barati A, SafarCherati A, Aghayari A, Azizi F, Abbasi H. (2013). Evaluation of relationship between trunk muscle endurance and static balance in male students. *Asian Journal of Sports Medicine*. 2013;4(4):289-94. [pmid:24800004](#)
8. Koblbauer IF, van Schooten KS, Verhagen EA, van Dieën JH. (2014). Kinematic changes during running-induced fatigue and relations with core endurance in novice runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2014;17(4):419-24. [pmid:23790535](#)
9. Tong TK, Wu S, Nie J, Baker JS, Lin H. (2014). The occurrence of core muscle fatigue during high-intensity running exercise and its limitation to performance: the role of respiratory work. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2014;13(2):244-51.
10. Tong TK, McConnell AK, Lin H, Nie J, Zhang H, Wang J. (2016). "Functional" inspiratory and core muscle training enhances running performance and economy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2016;30(10):2942-51.
11. NSCA -National Strength & Conditioning Association. (2014). Developing the core. *Champaign, IL: Human Kinetics*
12. Cavaggioni L, Ongaro L, Zannin E, Iaia FM, Alberti G. (2015). Effects of different core exercises on respiratory parameters and abdominal strength. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(10):3249-53. [pmid:26644685](#)
13. Stanton R, Reaburn PR, Humphries B. (2004). The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2004;18(3):522-8.
14. Sato K, Mokha M. (2009). Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runners? *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(1):133-40.
15. NeuroCom. (2008). Balance manager systems-instructions for use and clinical interpretation guide. *Clakamas, OR: NeuroCom*;
16. Chow GCC, Chung JWY, Ma AWW, Macfarlane DJ, Fong SSM. (2017). Sensory organisation and reactive balance control of amateur rugby players: A cross-sectional study. *European Journal of Sport Science*. 2017;17(4):400-6. [pmid:27863454](#)
17. Clark S, Iltis PW. (2008). Effects of dynamic head tilts on sensory organization test performance: A comparison between college-age athletes and nonathletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2008;38(5):262-8. [pmid:18448882](#)

18. Tong TK, Wu S, Nie J. (2014). Sport-specific endurance plank test for evaluation of global core muscle function. *Physical Therapy in Sport*. 2014;15(1):58-63. *pmid:23850461*
19. Jones AM, Doust JH. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*. 1996;14(4):321-7. *pmid:8887211*
20. Cissik JM. (2011). The role of core training in athletic performance, injury prevention, and injury treatment. *Strength & Conditioning Journal*. 2011;33(1):10-5.
21. Rahmat A, Naser H, Belal M, Hasan D. (2014). The effect of core stabilization exercises on the physical fitness in children 9-12 years. *Medicina Sportiva*. 2014;10(3):2401-5.
22. Gambetta V. (2007). Athletic development: The art & science of functional sports conditioning. *New World Library, USA: Human Kinetics*;
23. Boyle M. (2011). Advances in functional training: Training techniques for coaches, personal trainers and athletes. *Chichester, UK: Lotus Publishing*
24. Kenney WL, Wilmore J, Costill D. (1979). Physiology of Sport and Exercise. 6th Edition ed. USA: Human Kinetics; 2015. 28. Häggmark T, Thorstensson A. Fibre types in human abdominal muscles. *Acta Physiologica*. 1979;107(4):319-25.
25. Prieske O, Muehlbauer T, Granacher U. (2016). The role of trunk muscle strength for physical fitness and athletic performance in trained individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2016 Mar;46(3):401-19. *pmid:26589515*
26. Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiraki H. (2014). Effects of two types of trunk exercises on balance and athletic performance in youth soccer players. *The International Journal of Sports Physical Therapy*. 2014;9(1):47-57. *pmid:24567855*
27. Imai A, Kaneoka K. (2016). The relationship between trunk endurance plank tests and athletic performance tests in adolescent soccer players. *The International Journal of Sports Physical Therapy*. 2016;11(5):718-24. *pmid:27757284*
28. Romero-Franco N, Martínez-López E, Lomas-Vega R, Hita-Contreras F, Martínez-Amat A. (2012). Effects of proprioceptive training program on core stability and center of gravity control in sprinters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(8):2071-7.
29. Behm DG, Drinkwater EJ, Willardson JM, Cowley PM. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2010;35(1):91-108. *pmid:20130672*
30. McGill SM, Karpowicz A. (2009). Exercises for spine stabilization: Motion/motor patterns, stability progressions, and clinical technique. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2009;90(1):118-26. *pmid:19154838*
31. Calatayud J, Borreani S, Martin J, Martin F, Flandez J, Colado JC. (2015). Core muscle activity in a series of balance exercises with different stability conditions. *Gait & Posture*. 2015;42(2):186-92. *pmid:26047757*
32. Bergmark A. (1989). Stability of the lumbar spine: A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1989;60(sup230):1-54.

Cita Original

Hung K-C, Chung H-W, Yu CC-W, Lai H-C, Sun F-H (2019) Effects of 8-week CORE training on CORE endurance and running economy. *PLoS ONE* 14(3): e0213158. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213158>