

Efectos de seis semanas de entrenamiento isoinercial sobre la capacidad de salto, velocidad de carrera y equilibrio postural dinámico

Effects of six weeks of isoinertial training on vertical jump performance, running velocity, and dynamic postural balance

*Eric Sáez-Michea; *Miguel Alarcón-Rivera; **,***Pablo Valdés-Badilla; * ****Eduardo Guzmán-Muñoz
*Universidad Santo Tomás (Chile), **Universidad Católica del Maule (Chile), ***Universidad de Viña del Mar (Chile),
****Universidad Autónoma de Chile (Chile)

Resumen. Introducción: El método de entrenamiento de fuerza isoinercial presenta beneficios tanto en el campo del deporte y la rehabilitación. La evidencia disponible sugiere que este tipo de entrenamiento aumenta la fuerza y velocidad de las respuestas musculares. El objetivo de este estudio fue analizar los efectos de seis semanas de entrenamiento isoinercial sobre la capacidad de salto, velocidad de carrera y equilibrio postural dinámico en adultos no entrenados. Método: El diseño de este estudio fue pre-experimental. La selección de los participantes fue realizada de manera no probabilística por conveniencia. La muestra fue compuesta por 8 adultos, 4 personas de sexo femenino y 4 de sexo masculino. Se realizaron evaluaciones de evaluación de la fuerza explosiva a través del *countermovement jump* (CMJ), la prueba de carrera de 20 metros y la prueba de equilibrio postural dinámico *Star Excursion Balance Test* modificada (SEBTm). Todas las evaluaciones fueron realizadas pre y post un entrenamiento isoinercial. Resultados: Posterior al programa de entrenamiento isoinercial, la capacidad de salto aumentó un 17% en hombres y un 15% en mujeres. El tiempo de carrera disminuyó un 22% tanto en hombres como mujeres. El equilibrio postural dinámico también mostró un mejor rendimiento en las tres direcciones evaluadas en hombres y mujeres sometidos al entrenamiento isoinercial. Conclusión: El entrenamiento de fuerza con el método isoinercial parece ser una herramienta eficaz para la mejora de la capacidad de salto CMJ, velocidad de carrera y equilibrio postural dinámico en adultos saludables no entrenados.

Palabras clave: entrenamiento de fuerza; fuerza muscular; destreza motora; control postural; rendimiento físico funcional.

Abstract. Introduction: The isoinertial strength training method has benefits both in the field of sports and rehabilitation. The available evidence suggests that this type of training increases the strength and velocity of muscle responses. The aim of this study was to analyze the effects of six weeks of isoinertial training on jumping ability, running speed, and dynamic postural balance in untrained adults. Method: The design of this study was pre-experimental. The selection of the participants was carried out in a non-probabilistic way for convenience. The sample was composed of 8 adults, 4 females and 4 males. Explosive strength assessment tests were performed through the countermovement jump (CMJ), the 20-meter sprint test, and the modified Star Excursion Balance Test (SEBTm) for dynamic postural balance test. All evaluations were performed before and after isoinertial training. Results: After the isoinertial training program, jump ability increased by 17% in men and 15% in women. Race time decreased by 22% in both men and women. Dynamic postural balance also showed better performance in the three directions evaluated in men and women who underwent isoinertial training. Conclusion: Strength training with the isoinertial method seems to be an effective tool for improving CMJ jump ability, running velocity and dynamic postural balance in healthy untrained adults.

Keywords: strength training; muscular strength; motor skills; Postural control; functional physical performance.

Fecha recepción: 30-06-22. Fecha de aceptación: 02-01-23

Eduardo Guzmán Muñoz
eguzmanm@santotomas.cl

Introducción

El entrenamiento de fuerza es catalogado como una pieza fundamental tanto en el rendimiento deportivo (Beattie, Kenny, Lyons & Carson, 2014; López et al., 2011; Marques & González, 2006; Suchomel, Nimphius, Bellon & Stone, 2018) como en programas orientados a la salud y calidad de vida (Faigenbaum et al., 2009; Maestroni et al., 2020; Westcott, 2012), permitiendo lograr mejoras en la composición corporal y condición física, además de ejercer un impacto positivo en determinados biomarcadores cardiovasculares y metabólicos (Prieto-González, Sagat, Brahim & Sedlacek, 2020).

Se ha descrito que acciones musculares del tipo excéntrico aumentan el almacenamiento de energía elástica y, por consecuencia, se obtiene una mayor capacidad de fuerza que sólo una acción muscular concéntrica (Doan et al., 2002; Lindstedt, LaStayo & Reich, 2001). Junto con lo anterior, se ha observado que existe una mayor producción de fuerza en las acciones concéntricas cuando estas

son precedidas de una acción excéntrica (Colliander & Tesch, 1990; McBride, McCaulley & Cormie, 2008). Un método de entrenamiento de fuerza que se basa en estos principios es conocido como isoinercial. En el método isoinercial el trabajo que se produce durante la fase concéntrica se transforma en energía cinética y se disipa en la fase excéntrica (Maroto-izquierdo et al., 2022; Norrbrand, Pozzo, & Tesch 2010). El resultado será una mayor expresión excéntrica. Este tipo de entrenamiento ha demostrado aumentos tempranos de la fuerza y cambios estructurales en la masa muscular (Maroto-izquierdo et al., 2022; Norrbrand, Pozzo, & Tesch 2010).

El método isoinercial está compuesto por un volante giratorio que aprovecha la inercia para emplear una sobrecarga en la acción excéntrica (Maroto-izquierdo et al., 2022; Norrbrand, Pozzo, & Tesch 2010). De esta manera, la resistencia se adapta en cada instante y es proporcional a la fuerza desarrollada. Esto permitiría que durante la acción excéntrica se ejerza mayor fuerza, con un menor costo energético e igual valor de consumo de oxígeno en

comparación con acciones concéntricas (Abbott et al., 1952), aumentando el número de células satélites en fibras tipo II y disminuyendo el tiempo de recuperación del daño miofibrilar que este tipo de acciones conllevan (Cermak et al., 2013). Con el entrenamiento isoinercial, también, se han reportado mejoras en la coordinación intramuscular, menor estrés cardiovascular, mayor potencia y rendimiento muscular en comparación con entrenamientos tradicionales de cargas libres (Cabanillas, Serna, Muñoz-Arroyave, & Echeverri, 2020).

El entrenamiento isoinercial ha demostrado efectos positivos sobre el rendimiento neuromuscular en deportistas y personas físicamente activas. Se ha reportado que una intervención de 6 semanas de entrenamiento isoinercial mejoró la capacidad de salto vertical, agilidad y precisión de remate del balón en futbolistas (Fiorilli et al., 2020). Similares resultados fueron reportados en basquetbolistas, quienes aumentaron la capacidad de salto vertical y el sprint de 30 metros luego de 8 semanas de intervención con entrenamiento excéntrico (Cabanillas et al., 2020). En un grupo de varones físicamente activos un entrenamiento isoinercial de 3 semanas, además de aumentar la fuerza, reveló aumentos significativos de la activación muscular (Buckthorpe et al., 2015). En población no entrenada físicamente se cree que el entrenamiento isoinercial podría aumentar la fuerza muscular, mejorar la condición física y disminuir el riesgo de enfermedades cardiometabólicas (Bruseghini et al., 2015). A pesar de estos antecedentes, la evidencia es escasa en población no deportista y en otras variables neuromusculares de rendimiento como el equilibrio postural.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos de seis semanas de entrenamiento isoinercial sobre la capacidad de salto, velocidad de carrera y equilibrio postural dinámico en adultos no entrenados.

Material y método

El diseño de este estudio fue pre-experimental. La selección de los participantes fue realizada de manera no probabilística por conveniencia. Todos los participantes leyeron y firmaron un consentimiento informado y los procedimientos siguieron los criterios éticos de la declaración de Helsinki para las investigaciones en seres humanos.

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 8 adultos (4 mujeres y 4 hombres), con una edad situada entre los 30 y 49 años, pertenecientes al Centro de Ejercicio Adaptado (CEA), Rancagua (Chile). Este estudio fue realizado durante la pandemia por la COVID-19 entre los meses de agosto y septiembre de 2021, por lo cual los participantes debieron ser entrenados de manera individual y respetando las medidas sanitarias impuestas por el Gobierno de Chile, lo cual impidió reclutar e intervenir una mayor cantidad de participantes en esta investigación. Dentro de los criterios

de inclusión, los participantes debieron cumplir con: a) Ser personas no entrenadas, donde “no entrenado” se consideró como no haber participado en un programa de entrenamiento de fuerza estructurado (>2 días a la semana durante al menos 4 semanas) durante los últimos 2 años (Dinyer et al., 2019); b) Presentar un IMC entre 20 y 24,9 kg/m². Se excluyeron a participantes que: a) Sufrieran lesiones musculoesqueléticas en los últimos 3 meses; b) Presentaran cirugías en los últimos 6 meses de columna o tren inferior; c) Presentaran Trastornos a nivel vestibular; d) Presentaran molestias de cualquier tipo al momento de ejecutar las evaluaciones (ejemplo: dolor).

Capacidad de salto

La evaluación de la capacidad de salto se realizó en la plataforma de salto (DMJUMP® 2.5), por medio del salto contramovimiento (CMJ, *del inglés Counter Movement Jump*). El CMJ se realizó tratando de alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad realizando una flexo-extensión rápida de cadera, rodilla y tobillo, manteniendo extendidos los miembros inferiores durante la fase de vuelo. Se realizaron 3 saltos, con una pausa de minuto entre cada intento. Siguiendo el protocolo de la batería de Bosco, se registró la mejor altura alcanzada de los 3 saltos (Bosco, Luhtanen & Komi, 1983). Para este estudio se consideró el CMJ, debido a que es el más utilizado para evaluar el salto vertical en estudios científicos que incluyen entrenamientos de fuerza como intervención (Martínez-Pérez & Vaquero-Cristóbal, 2021)

Velocidad de carrera

Se midió la velocidad de carrera con la prueba de *sprint* de 20 metros. Las mediciones se realizaron en un recinto abierto, en una recta de 40 metros, lisa y plana. Todos los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de quince minutos dirigido por uno de los investigadores. El calentamiento estandarizado consistió en cinco minutos de activación de la región lumbopélvica del cuerpo, cinco minutos de carrera continua, dos carreras de 10 metros y 2 carreras de 15 metros, todas sin llegar al 100% de velocidad. Para la medición del test se situaron 2 conos para señalar el inicio y final de la carrera. Se les indicó a los participantes realizar el recorrido de la prueba a máxima velocidad de carrera (Turki et al., 2012). Los participantes comenzaban en una posición de pie con una pierna adelantada y sobre la línea de salida (Turki et al., 2012). Con un cronómetro se registró el tiempo que demoraban en realizar el recorrido de 20 metros. Se realizaron tres intentos con una recuperación de tres minutos entre cada intento. El mejor de los tres intentos se utilizó como resultado para los análisis posteriores (Turki et al., 2012).

Equilibrio postural dinámico

El equilibrio postural dinámico se evaluó mediante la prueba dinámica SEBTm (del inglés *Star Excursion Balance Test Modified*). El SEBTm es una herramienta válida y fiable para evaluar el equilibrio postural dinámico y, además, ha

sido considerada un buen predictor de lesiones en extremidades inferiores (Butler, Southers, Gorman, Kiesel, & Plisky, 2012), tiene una buena confiabilidad entre evaluadores y reevaluaciones con niveles mínimos de error de medición (Shaffer et. al, 2013). El SEBTm considera tres direcciones: anterior, postero-medial y postero-lateral (Hertel et al., 2006). En cada evaluación los participantes comenzaron desde posición bípeda con las manos en la cintura. La instrucción para cada participante fue la de alcanzar la mayor distancia posible con el miembro inferior en cada una de las direcciones antes mencionadas. Se evaluaron ambos miembros inferiores. Los participantes realizaron tres intentos por cada dirección evaluada, seleccionando para el registro la mayor distancia alcanzada (Gribble, Hertel & Plisky, 2012; Gribble, Kelly, Refshauge & Hiller, 2013). Un registro válido se consideró cuando el pie de apoyo no se despegaba del suelo y el participante podía retornar a la posición inicial sin perder el equilibrio luego de realizar el alcance. Para medir las distancias alcanzadas en las tres direcciones se utilizó una cinta métrica inextensible (Lufkin®, Canadá; precisión de 0,1mm) en centímetros. El valor final del alcance de la extremidad fue expresado en porcentaje normalizado a partir de la longitud de miembro inferior con el cálculo que se detalla a continuación:

$$\% \text{ SEBTm} = \frac{\text{distancia alcanzada (cm)}}{\text{longitud segmento (cm)}} \times 100$$

La longitud de miembro inferior fue medida considerando la distancia existente entre la espina iliaca anterosuperior hasta el maléolo medial del tobillo (Gribble et al., 2013).

Programa de entrenamiento isoinercial

El entrenamiento isoinercial tuvo una duración de seis semanas y se distribuyó en dos sesiones semanales de 45 minutos, en días no consecutivos (martes y jueves), totalizando 12 sesiones. Antes de iniciar las sesiones de entrenamiento se realizaron 2 sesiones de familiarización, en las cuales se explicaba los ejercicios, se enseñaba la técnica y los participantes probaban los ejercicios que serían aplicados en la intervención. Previo a cada sesión de entrenamiento y familiarización, se realizó un calentamiento de cinco minutos de activación de tren superior e inferior, y cinco minutos de bicicleta estática.

El entrenamiento constó de dos ejercicios: media sentadilla (MS) y elevación de talones (ET) (Figura 1). Durante las 6 semanas se realizaron 6 series de cada ejercicio con un periodo de descanso de 2 minutos entre series. Esta prescripción se basó en recomendaciones previas de literatura (Beato & Dello Iacono, 2020; Fiorilli et al., 2020). En cuanto a las repeticiones de los ejercicios de MS y ET, en las semanas uno y dos se realizaron series de 8 repeticiones; en las semanas 3 y 4 se realizaron series de 10 repeticiones, y en las semanas 5 y 6 se realizaron series de repeticiones de 12 repeticiones. La intensidad del entrenamiento fue controlada en base a la percepción de esfuerzo

físico, utilizando la escala de Borg. De esta forma, se les instruyó a los sujetos realizar los ejercicios a una intensidad de 7-9 según esta escala. Para los participantes este esfuerzo coincidió con una ejecución del ejercicio a máxima velocidad de acuerdo a su propia percepción.



Figura 1. Ejercicio isoinercial de media sentadilla (izquierda) y elevación de talones (derecha).

Análisis estadístico

Se utilizó el software estadístico SPSS (SPSS Inc., IL, USA). Se calculó la media y desviación estándar para describir todas las variables utilizadas en este estudio. Además, la distribución de los datos fue determinada con la prueba de Shapiro-Wilk. Se empleó la prueba T de student para muestras relacionadas para comparar las evaluaciones previo y posterior a la intervención. Se calculó el porcentaje de cambio y se determinó el tamaño del efecto (TE) mediante la d de Cohen considerando un efecto pequeño (0,20 - 0,49), moderado (0,50 - 0,79) o fuerte ($\geq 0,80$). Se consideró un nivel alfa de 0,05 para todos los análisis.

Resultados

En la tabla 1 se resumen las características generales de los participantes.

Tabla 1.
Características generales de la muestra (media y desviación estándar).

	Hombres		Mujeres		Total	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Edad (años)	38,50	10,30	33,00	6,58	36,30	9,80
Peso (Kg)	64,50	4,43	62,50	5,91	63,10	5,10
Talla (m)	1,70	0,05	1,60	0,04	1,67	0,05
IMC (Kg/m ²)	22,71	0,97	23,5	0,90	23,01	1,20

IMC: índice de masa corporal; DE: desviación estándar.

Capacidad de salto

La intervención con entrenamiento isoinercial mostró aumentos significativos en el CMJ ($p=0,003$; $d=0,77$) luego de las seis semanas de intervención. Al analizar la muestra por sexo, se puede observar que tanto hombres

($p=0,008$; $d=0,91$) como mujeres ($p=0,024$; $d=0,74$) tuvieron un aumento significativo en la capacidad del salto con un 20,9% y 17,6%, respectivamente (Tabla 2).

Velocidad de carrera

Para la prueba de 20 metros de *sprint*, se observó una disminución significativa en el tiempo que demoraron en

recorrer la distancia de la prueba tanto hombres ($p=0,002$; $d=0,88$) como mujeres ($p=0,013$; $d=0,81$) (Tabla 2). Los hombres disminuyeron su tiempo en un 19,5% y las mujeres en un 17,8%. El análisis del total de la muestra también evidenció una disminución significativa del tiempo recorrido ($p=0,001$; $d=0,83$).

Tabla 2.

Resultados de pruebas de salto vertical y velocidad de carrera (media y porcentaje de cambio).

	Hombres				Mujeres				Total			
	PRE	POST	%	Valor p	PRE	POST	%	Valor p	PRE	POST	%	Valor p
CMJ (cm)	26,2	31,7	20,9	0,008*	21,0	24,7	17,6	0,024*	23,6	28,2	19,5	0,003*
20 m (s)	4,1	3,3	-19,5	0,002*	4,5	3,7	-17,8	0,013*	4,28	3,51	-17,9	0,001*

CMJ: Salto contramovimiento. * $p<0,05$.

Equilibrio postural dinámico

En la tabla 3 se observan los resultados del SEBTm pre y post entrenamiento isoinercial. Respecto a los hombres, en la extremidad dominante se observan cambios estadísticamente significativos en las direcciones anterior ($p=0,001$; $d=0,64$), posterolateral ($p=0,009$; $d=0,93$) y posteromedial ($p=0,002$; $d=0,82$). En lo que respecta a la extremidad no dominante se observan diferencias significativas en las direcciones anterior ($p=0,007$; $d=1,11$) y

posterolateral ($p=0,002$; $d=0,98$). Al analizar a las mujeres se pueden observar cambios estadísticamente significativos en las direcciones anterior ($p=0,001$; $d=0,68$), posterolateral ($p=0,001$; $d=0,88$) y posteromedial ($p=0,045$; $d=1,74$) en la extremidad dominante, mientras que la extremidad no dominante se observan cambios significativos en las direcciones anterior ($p=0,004$; $d=0,65$) y posterolateral ($p=0,001$; $d=0,92$).

Tabla 3. Resultados del rendimiento del equilibrio postural en las direcciones anterior, posterolateral y posteromedial (media y porcentaje de cambio)

		Pierna dominante				Pierna no dominante			
		PRE	POST	%	valor p	PRE	POST	%	Valor p
TOTAL	Anterior (%)	83,9	91,3	8,8	0,001*	82,4	90,5	9,8	0,001*
	Posterolateral (%)	109,1	129,2	18,4	0,001*	105,6	116,8	10,6	0,001*
	Posteromedial (%)	94,2	108,4	15,1	0,003*	95,1	112	17,7	0,006*
HOMBRES	Anterior (%)	84,4	91,5	8,4	0,001*	81,6	90,6	11,0	0,007*
	Posterolateral (%)	108,6	118,9	9,5	0,009*	104,6	116,9	11,8	0,002*
	Posteromedial (%)	94,2	103,3	9,7	0,002*	99,7	110,6	10,9	0,094
MUJERES	Anterior (%)	83,5	91,1	9,1	0,001*	83,2	90,4	8,7	0,004*
	Posterolateral (%)	109,7	119,4	8,8	0,001*	106,6	116,8	9,6	0,001*
	Posteromedial (%)	94,2	113,5	20,5	0,045*	95,1	112	17,7	0,051

* $p<0,05$.

Discusión

El objetivo del presente estudio fue analizar los efectos de seis semanas de entrenamiento isoinercial sobre la capacidad de salto, velocidad de carrera y equilibrio postural dinámico en adultos no entrenados. Se registró el rendimiento neuromuscular pre y post intervención a través de la capacidad de salto con CMJ, velocidad de carrera con *sprint* de 20 metros y equilibrio postural dinámico con SEBTm.

Los resultados de este estudio muestran que la capacidad de salto aumentó un 17,4% en hombres y 15% en mujeres luego de ser sometidos a un entrenamiento isoinercial. Similares resultados fueron reportados en otras investigaciones. Un estudio demostró que cinco semanas de intervención isoinercial aumentó significativamente la altura del CMJ en un 3,85% para un grupo que entrenó sin carga adicional y 6,67% para el grupo con 10 kg de carga adicional (Nacz, Nacz, Brzenczek-Owczarzak, Arlet & Adach, 2016). Este antecedente resulta interesante ya que la muestra estudiada fueron hombres físicamente activos, pero no entrenados, similar a las características de los participantes de nuestra investigación. Por otra parte,

Fernández-Gonzalo, Lundberg, Alvarez-Alvarez & De Paz (2014), observaron que tras un protocolo de entrenamiento isoinercial de seis semanas en estudiantes universitarios, los valores de CMJ aumentaron 3% para hombres y 6% para mujeres, cambios que no fueron significativos ($p>0,05$). En deportistas de elite, las diferencias en capacidad de salto tras seis semanas de intervención fueron favorables para el entrenamiento isoinercial (9,8%) ($p<0,001$) en comparación con la máquina prensa de piernas (3,4%) ($p>0,05$) (Maroto-Izquierdo, García-López & De Paz, 2017). Semejantes resultados fueron reportados en deportistas de balonmano, donde tras siete semanas de protocolo isoinercial en sentadilla y estocadas se observan aumentos del 6% en la capacidad de salto (Sabido, Hernández-Davó, Botella, Navarro & Tous-Fajardo, 2017).

Con respecto a la velocidad de carrera, los resultados de nuestra investigación muestran efectos favorables de un entrenamiento isoinercial de seis semanas de intervención. Se observa una disminución del 22,4% en hombres y 21,5% en mujeres en el tiempo que demoraron en realizar la prueba de *sprint* de 20 metros posterior al entrenamiento isoinercial. Las carreras a máxima velocidad requieren cambios eficientes en las fases de la contracción muscular,

además de un adecuado ciclo de estiramiento y acortamiento para favorecer la correcta absorción y entrega de energía elástica (McBride et al., 2008). Maroto-izquierdo et al., (2017), observaron una disminución de 9,8% en el tiempo de carrera de 20 m luego de seis semanas de entrenamiento isoinercial ($p < 0,001$). Mejoras no significativas de la velocidad de la carrera fueron reportadas con un protocolo de entrenamiento isoinercial en atletas jóvenes posterior a seis semanas de intervención ($p > 0,05$) (Westblad, Petré, Kårström, Psilander & Björklund, 2021) y en jugadores juveniles de balonmano tras la intervención de ocho semanas ($p > 0,05$) (Madruga-Parera et al., 2022). Similares resultados fueron reportados por Sabido et al., (2017), quienes no observaron mejoras significativas en el *sprint* de 20 metros luego de siete semanas de intervención isoinercial ($p > 0,05$). Esta discrepancia en los resultados puede atribuirse a las diferencias en la dosificación utilizada. En la investigación de Maroto-izquierdo et al., (2017) la frecuencia fue de 2 sesiones a la semana hasta la semana tres y aumentan a 3 sesiones en las restantes tres semanas. En el caso de Westland et al., (2021) no hubo una progresión clara; de hecho, la intensidad aumentaba o disminuía dependiendo de la correcta técnica de ejecución. Por su parte, Madruga-Parera et al., (2022), regulaban la intensidad con escala de percepción del esfuerzo y agregaban nuevas directrices a los ejercicios establecidos. Estas adiciones pueden aumentar el tiempo de adaptación del aprendizaje de las diferentes tareas motoras. Por último, la investigación de Sabido et al., (2017) no declara progresiones en el volumen e intensidad de sus protocolos. En nuestra investigación se aplicó una progresión de la carga similar a la realizada por el estudio que también observó mejoras significativas del *sprint* (Maroto-izquierdo et al., 2017). Es probable que la mayor ganancia porcentual en la velocidad de la carrera observada en nuestro estudio en comparación con otros reportes (Maroto-izquierdo et al., 2017; Madruga-Parera et al., 2022; Westblad et al., 2021) se deba principalmente a las características de los participantes. Por ejemplo, en el estudio de Maroto-izquierdo et al., (2017) se intervino deportistas de elite, mientras que en nuestra investigación fueron personas no entrenadas.

Los cambios favorables evidenciados con el entrenamiento isoinercial en el salto y *sprint* podrían explicarse a partir de los estímulos neuromusculares, principalmente, de las acciones excéntricas que han sido reportados con este tipo de entrenamiento. A nivel molecular, la contracción muscular excéntrica en conjunto con la sobrecarga inercial promueve la inducción de células satélite, lo cual favorece una mejor recuperación de las microlesiones fibrilares producidas por el entrenamiento (Cermak et al., 2013). Además, se ha documentado que la síntesis de proteínas puede incrementarse aún más cuando ocurren simultáneamente la generación de fuerza y el estiramiento musculotendinoso, ambos involucrados durante la contracción excéntrica (Beato & Dello lacono, 2020). Desde una perspectiva mecánica, durante las contracciones ex-

céntricas, los músculos actúan mientras se alargan debido a la resistencia externa aplicada que supera la fuerza momentánea producida por el músculo (Beato & Dello lacono, 2020). Esta ventaja mecánica también representa la justificación del uso de ejercicios isoinerciales en los que la fase excéntrica resulta sobrecargada por la inercia acumulada durante la fase concéntrica a condición de que esta última se ejecute al máximo esfuerzo (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Mosteiro-Muñoz & Domínguez, 2017). Fisiológicamente, la contracción excéntrica se acompaña de una mayor producción de fuerza y un menor gasto de energía en comparación con las contracciones musculares tanto isométricas como concéntricas, lo que resulta en una mayor eficiencia del trabajo (Beato & Dello lacono, 2020; Tesch, Fernandez & Lundberg, 2017; Yáñez, Mancera & Suárez, 2022). Estos resultados se atribuyen al mayor número de puentes cruzados activos y a la contribución de los elementos pasivos involucrados durante el ciclo estiramiento/acortamiento (Beato & Dello lacono, 2020). La contracción excéntrica también favorece patrones neurales específicos, como la necesidad de menos unidades motoras para generar la misma cantidad de fuerza durante un ejercicio submáximo (Douglas et al., 2017). Además, las acciones excéntricas permiten el reclutamiento preferencial de unidades motoras de alto umbral y una mayor actividad cortical (Hody et al., 2019). Estas peculiaridades fisiológicas respaldan el uso ventajoso del entrenamiento con volante giratorio para optimizar las adaptaciones musculares agudas y crónicas.

Un hallazgo novedoso observado en nuestra investigación fue la mejora del equilibrio postural dinámico a través de la intervención con entrenamiento isoinercial. La evidencia sobre la influencia del entrenamiento isoinercial en el equilibrio postural dinámico es limitada y, principalmente, en adultos mayores. Onambe et al. (2008) y Bellomo et al. (2013) demostraron que 12 semanas de entrenamiento isoinercial para miembro inferior mejoró significativamente el equilibrio postural estático cuantificado a través de variables del centro de presión tanto en ojos abiertos como cerrados ($p < 0,01$). Se cree que el entrenamiento isoinercial de miembro inferior mejora el equilibrio postural debido a que los efectos fisiológicos de este método también se transfieren a la unidad músculo-tendón. En un estudio se demostró que el entrenamiento isoinercial aumenta 136% el *stiffness* tendinoso cuando se sometieron a los individuos a entrenamiento isoinercial de miembro inferior (Onambe et al, 2008). Este cambio ocurre principalmente en la estructura plantiflexora de tobillo, lo cual se atribuye a los cambios favorables del equilibrio postural observados con el entrenamiento isoinercial en personas mayores (Onambe et al, 2008). En nuestra investigación los efectos fueron observados en el equilibrio postural dinámico de adultos no entrenados. Hipotetizamos que el entrenamiento isoinercial de miembro inferior, además de favorecer el *stiffness* del tendón plantiflexor, contribuye a través de las contracciones excéntricas en la estimulación propioceptiva de músculos y

tendones, lo cual está directamente asociado con las mejoras del equilibrio postural estático y dinámico (Sañudo et al., 2019; Vásquez-Orellana, López-Vásquez, Méndez-Rebolledo & Guzmán-Muñoz, 2022).

Dentro de las limitaciones de este estudio se encuentran el pequeño tamaño de la muestra, la selección por conveniencia de los participantes y la inexistencia de un grupo control. Esto probablemente restrinja la validez externa del estudio. A pesar de esto, la significación estadística observada en cada una de las comparaciones refleja la eficacia de la intervención.

Conclusión

El entrenamiento isoinercial produce mejoras significativas en la capacidad de salto, velocidad de carrera y equilibrio postural dinámico en adultos sanos no entrenados, transformándose en un método eficiente ya que requiere un número de sesiones y tiempo reducido. Futuros estudios podrían centrarse en protocolos de entrenamiento isoinercial que incluyan ejercicios para miembro superior y realizar seguimientos posteriores a la intervención para determinar la duración de los efectos.

Referencias

- Abbott, B. C., Bigland, B., & Ritchie, J. M. (1952). The physiological cost of negative work. *The Journal of physiology*, 117(3), 380. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004755>
- Beato, M., & Dello Iacono, A. (2020). Implementing Flywheel (Isoinertial) Exercise in Strength Training: Current Evidence, Practical Recommendations, and Future Directions. *Frontiers in physiology*, 11, 569. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00569>
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44(6), 845-865. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0157-y>
- Bellomo, R. G., Iodice, P., Maffulli, N., Maghradze, T., Coco, V., & Saggini, R. (2013). Muscle strength and balance training in sarcopenic elderly: a pilot study with randomized controlled trial. *European Journal of Inflammation*, 11(1), 193-201. <https://doi.org/10.1177%2F1721727X1301100118>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273-282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Bruseghini, P., Calabria, E., Tam, E., Milanese, C., Oliboni, E., Pezzato, A., Pogliaghi, S., Salvagno, G. L., Schena, F., Mucelli, R. P., & Capelli, C. (2015). Effects of eight weeks of aerobic interval training and of isoinertial resistance training on risk factors of cardiometabolic diseases and exercise capacity in healthy elderly subjects. *Oncotarget*, 6(19), 16998-17015. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.4031>
- Buckthorpe, M., Erskine, R. M., Fletcher, G., & Folland, J. P. (2015). Task-specific neural adaptations to isoinertial resistance training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(5), 640-649. <https://doi.org/10.1111/sms.12292>
- Butler, R. J., Southers, C., Gorman, P. P., Kiesel, K. B., & Plisky, P. J. (2012). Differences in soccer players' dynamic balance across levels of competition. *Journal of athletic training*, 47(6), 616-620. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.5.14>
- Cabanillas, R., Serna, J., Muñoz-Arroyave, V., & Ramos, J. A. E. (2020). Effect of eccentric overload through isoinertial technology in basketball players. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 22. <https://doi.org/10.1590/1980-0037.2020v22e59831>
- Cermak, N. M., Snijders, T., McKay, B. R., Parise, G., Verdijk, L. B., Tarnopolsky, M. A., Gibala, M. J., & Van Loon, L. J. C. (2013). Eccentric exercise increases satellite cell content in type II muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(2), 230-237. doi.org/10.1249/MSS.0b013e318272cf47
- Colliander, E. B., & Tesch, P. A. (1990). Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta physiologica scandinavica*, 140(1), 31-39. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1990.tb08973.x>
- Dinyer, T. K., Byrd, M. T., Garver, M. J., Rickard, A. J., Miller, W. M., Burns, S., Clasey, J. L., & Bergstrom, H. C. (2019). Low-Load vs. High-Load Resistance Training to Failure on One Repetition Maximum Strength and Body Composition in Untrained Women. *Journal of strength and conditioning research*, 33(7), 1737-1744. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003194>
- Doan, B. K., Newton, R. U., Marsit, J. L., Triplett-McBride, N. T., Koziris, L. P., Fry, A. C., & Kraemer, W. J. (2002). Effects of increased eccentric loading on bench press 1RM. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 9-13. PMID: 11834100
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(4), 663-675. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, S60-S79. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31819df407>
- Fernández-Gonzalo, R., Lundberg, T. R., Alvarez-Alvarez, L., & de Paz, J. A. (2014). Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *European journal of applied physiology*, 114(5), 1075-1084. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2836-7>
- Fiorilli, G., Mariano, I., Iuliano, E., Giombini, A., Ciccarelli, A., Buonsenso, A., ... & di Cagno, A. (2020). Isoinertial eccentric-overload training in young soccer players: Effects on strength, sprint, change of direction, agility and soccer shooting precision. *Journal of sports science & medicine*, 19(1), 213. PMID: 32132845
- Gribble, P. A., Hertel, J., & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of athletic training*, 47(3), 339-357. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>
- Gribble, P. A., Kelly, S. E., Refshauge, K. M., & Hiller, C. E. (2013). Interrater reliability of the star excursion balance test. *Journal of athletic training*, 48(5), 621-626. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.3.03>
- Hertel, J., Braham, R. A., Hale, S. A., & Olmsted-Kramer, L. C. (2006). Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(3), 131-137. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.36.3.131>

- Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Frontiers in physiology*, 10, 536. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
- Lindstedt, S. L., LaStayo, P. C., & Reich, T. E. (2001). When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *Physiology*, 16(6), 256-261. <https://doi.org/10.1152/physiologyonline.2001.16.6.256>
- López-Segovia, M., Marques, M. C., Van den Tillaar, R., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *Journal of human kinetics*, 30, 135. <https://doi.org/10.2478%2Fv10078-011-0081-2>
- Madruza-Parera, M., Bishop, C., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Beato, M., Gonzalo-Skok, O., & Romero-Rodríguez, D. (2022). Effects of 8 weeks of isoinertial vs. cable-resistance training on motor skills performance and interlimb asymmetries. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(5), 1200-1208. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003594>
- Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., Papadopoulos, K., Suchomel, T. J., Comfort, P., & Turner, A. (2020). The benefits of strength training on musculoskeletal system health: practical applications for interdisciplinary care. *Sports Medicine*, 50(8), 1431-1450. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01309-5>
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., & de Paz, J. A. (2017). Functional and muscle-size effects of flywheel resistance training with eccentric-overload in professional handball players. *Journal of human kinetics*, 60(1), 133-143. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0096>
- Maroto-Izquierdo, S., McBride, J. M., Gonzalez-Diez, N., García-López, D., González-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2022). Comparison of Flywheel and Pneumatic Training on Hypertrophy, Strength, and Power in Professional Handball Players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 93(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/02701367.2020.1762836>
- Marques, M. A. C., & González-Badillo, J. J. (2006). In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *Journal of strength and conditioning research*, 20(3), 563. <https://doi.org/10.1519/r-17365.1>
- Martínez-Pérez, P., & Vaquero-Cristóbal, R. (2021). Revisión sistemática del entrenamiento de fuerza en futbolistas preadolescentes y adolescentes (Systematic review of strength training in preadolescent and adolescent football players). *Retos*, 41, 272-284. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i41.82487>
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 750-757. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31816a83ef>
- Mosteiro-Muñoz, F., & Domínguez, R. (2017). Efectos del entrenamiento con sobrecargas isoinerciales sobre la función muscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte/International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, 17(68), 757-773.
- Nacz, M., Nacz, A., Brzenczek-Owczarzak, W., Arlet, J., & Adach, Z. (2016). Impact of inertial training on strength and power performance in young active men. *Journal of strength and conditioning research*, 30(8), 2107-2113. <https://doi.org/10.1097/JSC.000000000000217>
- Norrbrand, L., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European journal of applied physiology*, 110(5), 997-1005. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1575-7>
- Onambélé, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I. M., & Narici, M. V. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of biomechanics*, 41(15), 3133-3138. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.004>
- Prieto González, P., Sagat, P., Ben Brahim, M., & Sedlacek, J. (2020). Análisis de la veracidad de determinadas creencias asociadas habitualmente al entrenamiento de fuerza. Una revisión narrativa (Analysis of the veracity of certain beliefs frequently associated to resistance training. A narrative review). *Retos*, 38, 773-781. <https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.69739>
- Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., Botella, J., Navarro, A., & Tous-Fajardo, J. (2017). Effects of adding a weekly eccentric-overload training session on strength and athletic performance in team-handball players. *European journal of sport science*, 17(5), 530-538. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1282046>
- Sañudo, B., Sánchez-Hernández, J., Bernardo-Filho, M., Abdi, E., Taiar, R., & Núñez, J. (2019). Integrative neuromuscular training in young athletes, injury prevention, and performance optimization: A systematic review. *Applied Sciences*, 9(18), 3839. <https://doi.org/10.3390/app9183839>
- Shaffer, S. W., Teyhen, D. S., Lorenson, C. L., Warren, R. L., Koreerat, C. M., Straseske, C. A., & Childs, J. D. (2013). Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. *Military medicine*, 178(11), 1264-1270. <https://doi.org/10.7202/MILMED-D-13-00222>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: training considerations. *Sports medicine*, 48(4), 765-785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>
- Tesch, P. A., Fernandez-Gonzalo, R., & Lundberg, T. R. (2017). Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. *Frontiers in physiology*, 8, 241. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00241>
- Turki, O., Chaouachi, A., Behm, D. G., Chtara, H., Chtara, M., Bishop, D., ... & Amri, M. (2012). The effect of warm-ups incorporating different volumes of dynamic stretching on 10- and 20-m sprint performance in highly trained male athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 63-72. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31821ef846>
- Vásquez-Orellana, K., López-Vásquez, M., Méndez-Rebolledo, G., & Muñoz, E. G. (2022). Efectos de un entrenamiento neuromuscular sobre el equilibrio postural dinámico y propiocepción en basquetbolistas juveniles con inestabilidad funcional de tobillo. *Retos*, 44, 1104-1112. <https://doi.org/10.47197/retos.v44i0.91257>
- Westblad, N., Petré, H., Kärström, A., Psilander, N., & Björklund, G. (2021). The Effect of Autoregulated Flywheel and Traditional Strength Training on Training Load Progression and Motor Skill Performance in Youth Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3479. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073479>
- Westcott, W. L. (2012). Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Current sports medicine reports*, 11(4), 209-216. <https://doi.org/10.1249/jsr.0b013e31825dabb8>
- Yáñez, C. A., Mancera, E. M., & Suárez, C. (2022). Entrenamiento de fuerza isoinercial en adultos mayores: una revisión literaria. *Apunts. Educación física y deportes*, 1(147), 36-44.