

Efecto del entrenamiento de la fuerza por procesos sobre el equilibrio de los niños con trastorno del desarrollo de la coordinación

The effect of strength training based on process approach intervention on balance of children with developmental coordination disorder

Estud. Hasan Kordi^a, Prof. Asoc. Dr. Mehdi Sohrabi^a,
Prof. Asist. Dr. Alireza Saberi Kakhki^a y Prof. Dr. Seyed R. Attarzadeh Hossini

RESUMEN

Introducción. El equilibrio es uno de los problemas más importantes de los niños con trastorno del desarrollo de la coordinación (TDC). Según el enfoque por procesos, además del entrenamiento de la fuerza, las adaptaciones neuromusculares pueden mejorar el equilibrio. **Objetivo.** Evaluar los efectos del entrenamiento de la fuerza sobre el equilibrio estático y dinámico de los niños con TDC.

Métodos y población. En el estudio participaron niños de 7 a 9 años de edad de Teherán, y el diseño utilizado fue el de un ensayo controlado aleatorizado. A los sujetos se los separó aleatoriamente en dos grupos: experimental (n=15) y de referencia (n=15). Los participantes tuvieron 24 sesiones de ejercicio a lo largo de 12 semanas. El grupo experimental realizó el entrenamiento de la fuerza con ejercicios con la banda elástica flexible Thera-band®, mientras que el grupo de referencia hizo los ejercicios de rutina de la clase de educación física. Se midió la fuerza isométrica de los músculos abductores de la cadera y de los flexores plantares con un dinamómetro manual, y se utilizó la prueba de destrezas motoras de Bruininks-Oseretsky, segunda edición (BOT-2, por sus siglas en inglés) para medir el equilibrio estático y dinámico. Los datos se analizaron con pruebas t para muestras independientes y emparejadas.

Resultados. El entrenamiento de la fuerza aumentó significativamente la fuerza muscular de los niños con TDC ($P < 0,001$) y mejoró su equilibrio estático ($P < 0,05$); sin embargo, estos ejercicios no tuvieron un efecto significativo sobre el equilibrio dinámico ($P > 0,05$).

Conclusión. El entrenamiento de la fuerza mejora el equilibrio estático de los niños con TDC. No se observó una mejoría del equilibrio dinámico como resultado del entrenamiento de la fuerza en estos niños.

Palabras clave: centrado en procesos, entrenamiento de la resistencia, trastorno del desarrollo de la coordinación, equilibrio postural.

INTRODUCCIÓN

Los niños con trastorno del desarrollo de la coordinación (TDC) no alcanzan los patrones de movimiento adecuados en coordinación con su edad.¹ El equilibrio y el control postural son los dos problemas más importantes en los niños con TDC.^{2,3} Los métodos utilizados para el tratamiento de los niños con TDC pueden dividirse en dos categorías principales: desde abajo hacia arriba y desde arriba hacia abajo.⁴ El enfoque desde abajo hacia arriba (es decir, por procesos) consiste en mejorar los déficits subyacentes y facilitar el crecimiento y la maduración neurológica, con base en la suposición de que existe una correlación directa entre los procesos subyacentes y el desempeño funcional.⁵ El enfoque por procesos se basa en la presunción de que la función motora correcta es resultado de un sistema neuromuscular que funciona adecuadamente.^{6,7} Según la hipótesis del enfoque por procesos, mejorar las funciones corporales, tales como la integración de los sentidos, la cinestesia, la fuerza muscular, la estabilidad lumbopélvica, la percepción visual y motora, y otras funciones similares, permite optimizar las habilidades funcionales.^{4,8,9} Por lo tanto, el entrenamiento de la fuerza podría considerarse una intervención basada en procesos, siempre y cuando se realice con el objetivo de incrementar la fuerza muscular implicada.¹⁰

a. Universidad
Ferdowsi de
Mashhad, Mashhad,
Irán.

Correspondencia:
Dr. Mehdi Sohrabi:
sohrabi@um.ac.ir

Financiamiento:
Ninguno.

Conflicto de intereses:
Ninguno que declarar.

Recibido: 7-4-2016
Aceptado: 18-7-2016

En estudios ampliados, se observaron efectos positivos de los programas de entrenamiento de la fuerza sobre la optimización de la fuerza muscular y el mejoramiento del equilibrio en los niños con síndrome de Down,¹¹ los pacientes con enfermedad de Parkinson,¹² los niños con parálisis cerebral¹³ y las personas de edad avanzada¹⁴ En algunos estudios de casos, se halló que el entrenamiento de la fuerza mejoró la fuerza muscular, la motricidad gruesa y la propiocepción¹⁵ las funciones motoras¹⁶ y el desempeño de la motricidad gruesa¹⁷ en los niños con TDC. Sin embargo, en una serie de estudios, se observaron resultados contradictorios: no se informó una correlación significativa entre el control postural y la fuerza muscular, y se concluyó que eran independiente uno del otro.¹⁸⁻²¹

Es importante el tratamiento de los trastornos del equilibrio en los niños con TDC.²² Es más, los hallazgos opuestos y diferentes en relación con el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre el equilibrio dieron lugar a este estudio, cuyo objetivo fue evaluar los efectos del entrenamiento de la fuerza para mejorar el equilibrio estático y dinámico en los niños con TDC.

POBLACIÓN Y MÉTODOS

Ensayo clínico controlado aleatorizado, simple ciego con un diseño de valoración previa y posterior a la prueba con un grupo de referencia.

La asignación aleatoria fue realizada por un investigador independiente que no participó en el proceso de inclusión de los sujetos. Se usó una tabla de números aleatorios para generar la secuencia de asignación al grupo experimental o al grupo control. La misma se implementó a través de sobres cerrados opacos para garantizar la asignación oculta.

Seleccionamos a 475 niños voluntarios de entre 7 y 9 años de edad, alumnos de dos escuelas primarias de Teherán, Irán. El estudio se llevó a cabo en el gimnasio bajo techo de las escuelas, entre enero y marzo de 2016. Criterios de inclusión: diagnóstico de TDC con base en el Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales IV,¹ edad cronológica entre 7 y 9 años de edad, síntomas de TDC y coeficiente intelectual normal (por encima de 75). Criterios de exclusión: síntomas de trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), participación irregular en las sesiones de entrenamiento, trastorno neurológico, locomotor o visual grave según el diagnóstico de un psicólogo y un médico.²³

Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los padres de cada participante y el asentimiento del niño cuando correspondía, antes de la selección y recolección de datos. La magnitud mínima del efecto del entrenamiento motor (entrenamiento grupal) para mejorar la destreza motora de las personas con TDC es 0,54. En consecuencia, fue necesaria una muestra de 29 participantes para alcanzar una potencia estadística de 0,8 en las mediciones previa y posterior a la prueba en dos grupos de niños con TDC, con un nivel alfa de 0,05.³ El estudio recibió la aprobación del comité de ética de investigación de la Universidad de Ciencias Médicas de Mashhad.

VARIABLES Y HERRAMIENTAS

La fuerza isométrica de los músculos abductores de la cadera y de los flexores plantares se estableció como variable para la evaluación de la fuerza muscular. Además, se estableció el desempeño del equilibrio estático y dinámico con los ojos abiertos y cerrados como variable para evaluar el dominio del equilibrio.

Se midieron la estatura, el peso y el índice de masa corporal (IMC). La estatura de los niños se midió en dos instancias, con un estadímetro de pared con una precisión de 0,1 cm y con el niño parado y descalzo. El peso de los participantes se midió con una balanza digital Seca (modelo 769G21, Alemania) con una precisión de 0,1 kg y con el niño vestido con la menor cantidad de ropa posible. El IMC se calculó con base en la ecuación estándar (peso [en kilogramos]/estatura [elevada al cuadrado]).²⁴

Batería de Evaluación del Movimiento para niños, segunda edición (MABC-2, por sus siglas en inglés). En este estudio, se utilizaron los criterios de la franja etaria 2 (de 7 a 10 años) para la selección de los participantes. En general, los niños con un puntaje por debajo del percentilo 15 cumplen con los criterios diagnósticos. La validez y la fiabilidad de la prueba MABC-2 son aceptables.

Los intervalos de fiabilidad entre evaluadores variaron entre 0,92 y 1,00, mientras que la fiabilidad prueba-contraprueba varió entre 0,62 y 0,92.²²

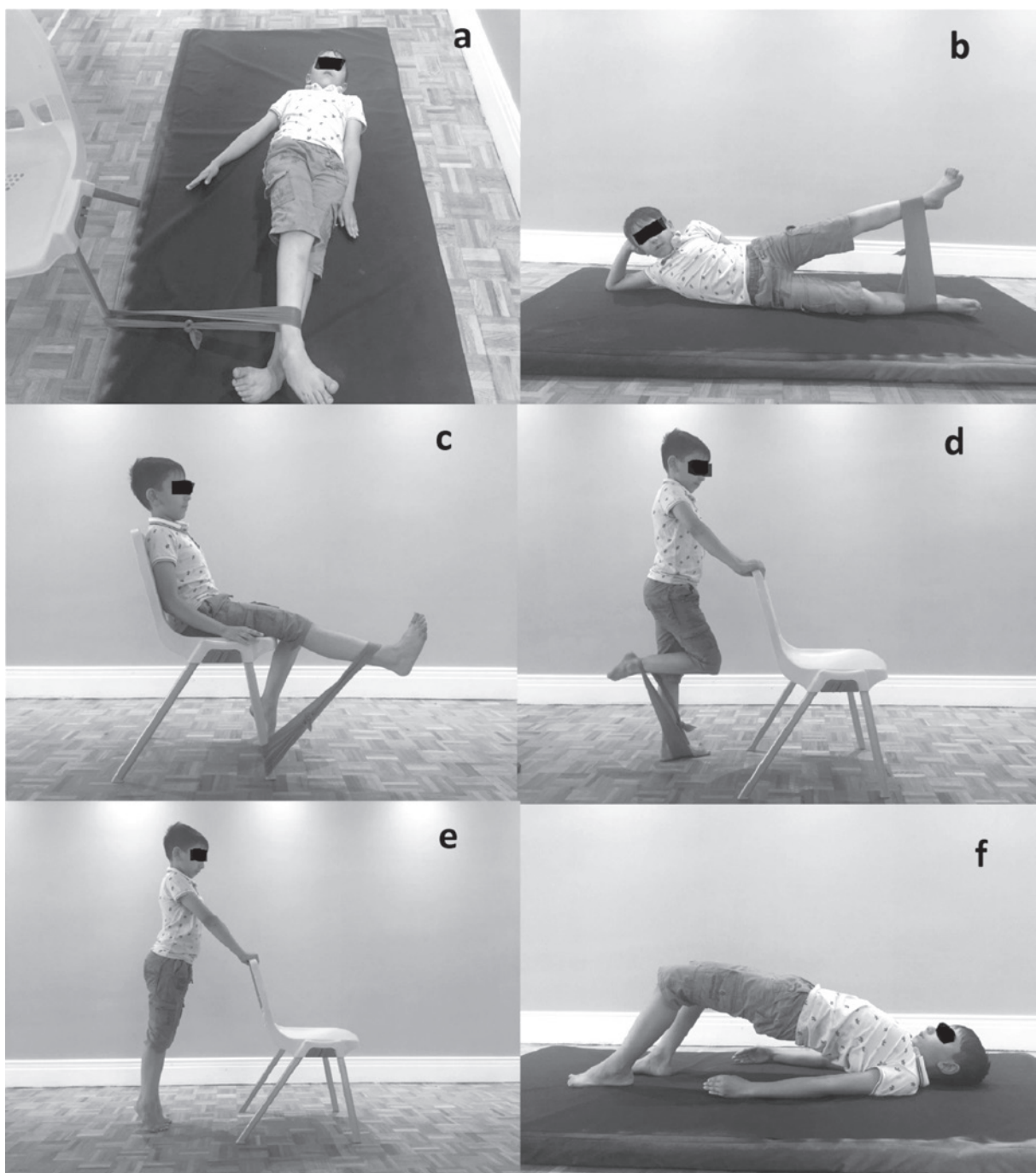
Dinamómetro manual. La fuerza de los músculos abductores de la cadera y de los flexores plantares se midió con un dinamómetro fijado a mano, fabricado por JTech Medical Company (Salt Lake City, EE. UU.). La evaluación se realizó conforme al manual del dispositivo (Commander PowerTrack II). Es frecuente el uso del dinamómetro manual como

instrumento válido en diversas investigaciones para medir la fuerza de los músculos de las extremidades inferiores en los niños.¹⁶

Prueba de destreza motora de Bruininks-Oseretsky, segunda edición (BOT-2, por sus siglas en inglés). La BOT-2 abarca el rango etario de 4 a 21 años. La subcategoría de equilibrio de la BOT-

2 incluye nueve tareas por separado: cuatro se realizan con los ojos abiertos y el resto, con los ojos cerrados. La fiabilidad prueba-contraprueba de la BOT-2 fue suficiente (0,85), mientras que la fiabilidad entre evaluadores fue de 0,98. La validez de constructo está también fuertemente respaldada.²²

FIGURA 1. Plan de entrenamiento de la fuerza: a. aducción unilateral de la cadera en decúbito supino; b. abducción de la cadera en decúbito lateral; c. extensión unilateral de la rodilla en sedestación; d. flexión unilateral de la rodilla en bipedestación; e. elevación bilateral de los talones en bipedestación; f. puente de hombros en decúbito supino



Intervenciones

Los participantes asistieron a dos sesiones de entrenamiento de la fuerza (grupo experimental) o de educación física (EF) habitual (grupo de referencia) de 60 min cada una por semana durante 12 semanas consecutivas (24 sesiones). Dichas sesiones se llevaron a cabo en la clase de educación física. El profesor de EF habitual y un especialista certificado en fuerza y acondicionamiento con experiencia en el entrenamiento de niños brindaron las instrucciones en cada clase. Los participantes del grupo de referencia no formaron parte del entrenamiento de la fuerza sino que asistieron a la clase de EF habitual, dos veces por semana (domingos y martes) durante el período del estudio en una clase por separado al mismo tiempo que el grupo experimental. Dos expertos en pruebas de la fuerza muscular y los procedimientos de la BOT-2 y la MABC-2 hicieron todas las mediciones.

El programa de entrenamiento de la fuerza

se diseñó con base en el método recomendado por la Academia Estadounidense de Pediatría, que es un programa de entrenamiento con carga moderada.²⁴

El protocolo de entrenamiento de la fuerza se centró en fortalecer los músculos lumbopélvicos y de las extremidades inferiores que participan del equilibrio estático y dinámico, entre otros, los abductores y aductores de las piernas, los flexores y extensores de las rodillas, los abdominales, los extensores de la espalda y los flexores plantares.^{17,25} Se optó por el programa de entrenamiento de la fuerza con bandas elásticas Thera-Band®, según el peso y en decúbito prono o supino,¹⁷ pero no se aplicaron los programas que incluían levantamiento de pesas y máquinas de musculación (Figura 1).

En la *Tabla 1*, se describen la estructura y el contenido del programa de entrenamiento de la fuerza. Los participantes hicieron dos series de 10 repeticiones de cada ejercicio primario durante la primera semana, y a lo largo del período de

TABLA 1. Cronograma de entrenamiento de la fuerza del grupo experimental

| Ejercicio | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1† | 2*10 | 3*10 | 3*10 | 3*12 | 3*12 | 3*10 | 3*15 | 3*15 | 3*12 | 3*15 | 3*15 | 3*15 |
| 2 | 2*10 | 3*10 | 3*10 | 3*12 | 3*12 | 3*10 | 3*15 | 3*15 | 3*12 | 3*15 | 3*15 | 3*15 |
| 3 | 2*10 | 3*10 | 3*10 | 3*12 | 3*12 | 3*10 | 3*15 | 3*15 | 3*12 | 3*15 | 3*15 | 3*15 |
| 4 | 2*10 | 3*10 | 3*10 | 3*12 | 3*12 | 3*10 | 3*15 | 3*15 | 3*12 | 3*15 | 3*15 | 3*15 |
| 5 | 2*10 | 3*10 | 3*10 | 3*12 | 3*12 | 3*10 | 3*15 | 3*15 | 3*12 | 3*15 | 3*15 | 3*15 |
| 6 | 2*10 | 3*10 | 3*10 | 3*12 | 3*12 | 3*10 | 3*15 | 3*15 | 3*12 | 3*15 | 3*15 | 3*15 |

† Tipo de ejercicio según lo siguiente: 1. Aducción unilateral de la cadera en decúbito supino; 2. Abducción de la cadera en decúbito lateral; 3. Extensión unilateral de la rodilla en sedestación; 4. Flexión unilateral de la rodilla en bipedestación; 5. Elevación bilateral de los talones en bipedestación; 6. Puente de hombros en decúbito supino.

TABLA 2. Descripción de los participantes del estudio

| Grupo | N | Niño | Niña | Peso (kg) | Estatura (cm) | Edad (años) | IMC (kg/m ²) |
|---------------|----|------|------|--------------|----------------|-------------|--------------------------|
| Experimental | 15 | 10 | 5 | 26,33 ± 3,51 | 120,93 ± 2,78 | 8,01 ± 0,54 | 26,33 ± 3,51 |
| De referencia | 15 | 12 | 3 | 25,00 ± 2,26 | 119,60 ± 3,135 | 7,70 ± 0,63 | 25,00 ± 2,26 |

TABLA 3. Prueba t en muestras emparejadas para comparar la fuerza isométrica antes y después de la prueba

| | Grupo | Antes de la prueba media (DE) | Después de la prueba media (DE) | t | P | df | Error estándar de la media |
|---------------|---------------|----------------------------------|------------------------------------|--------|---------|----|-------------------------------|
| Hip abduction | Experimental | 7,15 ± 1,23 | 9,86 ± 1,28 | -8,703 | 0,0001* | 14 | 0,31033 |
| | De referencia | 7,51 ± 1,16 | 7,45 ± 1,21 | 0,460 | 0,653 | 14 | 0,13918 |
| Dorsi flexion | Experimental | 8,62 ± 1,16 | 10,95 ± 1,34 | -8,081 | 0,0001* | 14 | 0,28881 |
| | De referencia | 7,98 ± 1,01 | 7,81 ± 0,66 | 0,956 | 0,355 | 14 | 0,18474 |

* (p < 0,05)

entrenamiento de 12 semanas pasaron de dos a tres series y de 10 a 15 repeticiones de cada ejercicio.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva (media y desviación estándar) y se aseguró la distribución normal de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk; luego, se usó la prueba t en muestras independientes y emparejadas con un nivel alfa de 0,05; y se usó el programa SPSS, versión 18.

RESULTADOS

Se seleccionó a 475 niños voluntarios de entre 7 y 9 años de edad; 56 tenían síntomas de TDC. Se excluyó a cuatro de ellos debido a la negativa de sus padres a participar y a otros 22 debido a que tenían síntomas de TDAH. Al resto de los niños se los distribuyó aleatoriamente en dos grupos de 15 niños cada uno (grupo experimental y grupo de referencia), quienes completaron su participación en el estudio.

En la *Tabla 2*, se brinda información sobre la distribución por sexo, edad, estatura, peso e IMC de los participantes del estudio. En la *Tabla 3*, se presentan la media y la desviación estándar de

las variables fuerza muscular y destreza motora antes y después de la prueba, correspondientes a ambos grupos.

Según los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, la distribución de las variables equilibrio y fuerza muscular era normal en ambos grupos ($p > 0,05$). La prueba t en muestras independientes entre ambos grupos antes de la prueba indicó que no había una diferencia significativa en las variables fuerza isométrica y equilibrio ($P < 0,05$). La comparación entre los puntajes medios de fuerza muscular antes y después de la prueba usando la prueba t en muestras emparejadas mostró que el programa de entrenamiento de la fuerza incrementó significativamente la fuerza isométrica de los músculos de la cadera y los dorsiflexores (*Tabla 3*).

Para observar el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre el equilibrio estático y dinámico, se compararon los puntajes medios obtenidos antes y después de la prueba con el resultado de la prueba t en muestras emparejadas (*Tabla 4*). Los resultados indicaron que el entrenamiento de la resistencia aumentó significativamente el desempeño de los niños con TDC en los siguientes ejercicios: sostenerse de pie sobre una línea, sostenerse en

TABLA 4. Comparación de los puntajes medios del equilibrio estático y dinámico antes y después de la prueba

| | Grupo | Antes de la prueba media (DE) | Después de la prueba media (DE) | t | P | df | Error estándar de la media |
|--|---------------|----------------------------------|------------------------------------|--------|---------|----|-------------------------------|
| Sostenerse de pie sobre una línea | Experimental | 4,13 ± 0,83 | 4,80 ± 0,86 | -3,568 | 0,003* | 14 | 0,187 |
| | De referencia | 4,01 ± 1,00 | 4,13 ± 0,91 | -0,619 | 0,546 | 14 | 0,215 |
| Caminar hacia adelante sobre una línea | Experimental | 3,73 ± 0,96 | 4,00 ± 1,13 | -0,845 | 0,413 | 14 | 0,316 |
| | De referencia | 4,20 ± 1,01 | 3,93 ± 0,70 | 1,169 | 0,262 | 14 | 0,228 |
| Sostenerse en una pierna sobre una línea | Experimental | 2,93 ± 0,96 | 4,40 ± 0,83 | -7,643 | 0,0001* | 14 | 0,192 |
| | De referencia | 3,47 ± 1,12 | 3,67 ± 0,82 | -1,382 | 0,189 | 14 | 0,145 |
| Sostenerse con los pies separados sobre una línea (ojos cerrados) | Experimental | 3,07 ± 0,79 | 3,67 ± 0,82 | -2,201 | 0,045* | 14 | 0,273 |
| | De referencia | 2,93 ± 0,59 | 3,33 ± 0,72 | -1,572 | 0,138 | 14 | 0,254 |
| Caminar hacia adelante sobre una línea (poniendo un pie adelante del otro) | Experimental | 3,00 ± 0,75 | 2,93 ± 0,59 | 0,367 | 0,719 | 14 | 0,182 |
| | De referencia | 3,40 ± 0,73 | 3,00 ± 0,65 | 1,702 | 0,111 | 14 | 0,235 |
| Sostenerse en una pierna sobre una línea (ojos cerrados) | Experimental | 2,07 ± 0,79 | 2,13 ± 0,64 | -0,564 | 0,582 | 14 | 0,118 |
| | De referencia | 1,87 ± 0,64 | 2,00 ± 0,53 | -1,468 | 0,164 | 14 | 0,091 |
| Sostenerse en una pierna sobre una barra de equilibrio | Experimental | 2,73 ± 0,70 | 3,87 ± 0,74 | -4,141 | 0,001* | 14 | 0,274 |
| | De referencia | 2,60 ± 0,83 | 2,80 ± 0,77 | -1,871 | 0,082 | 14 | 0,107 |
| Sostenerse con un pie adelante del otro sobre una barra de equilibrio | Experimental | 2,87 ± 0,64 | 3,20 ± 0,67 | -2,646 | 0,019* | 14 | 0,126 |
| | De referencia | 3,20 ± 0,67 | 3,27 ± 0,59 | -1,000 | 0,334 | 14 | 0,067 |
| Sostenerse en una pierna sobre una barra de equilibrio (ojos cerrados) | Experimental | 1,67 ± 0,62 | 1,73 ± 0,45 | -0,435 | 0,670 | 14 | 0,153 |
| | De referencia | 2,07 ± 0,79 | 2,13 ± 0,64 | -0,367 | 0,719 | 14 | 0,182 |

* (p < 0,05)

una pierna sobre una línea, sostenerse con los pies separados sobre una línea (ojos cerrados), sostenerse en una pierna sobre una barra de equilibrio y sostenerse con un pie adelante del otro sobre una barra de equilibrio, aunque este último ejercicio no tuvo un efecto significativo sobre los elementos del equilibrio dinámico.

Los resultados de la prueba *t* en muestras independientes después de la prueba mostraron diferencias significativas entre ambos grupos en los siguientes ejercicios: sostenerse de pie sobre una línea ($t= 2,054$; $p= 0,049$), sostenerse en una pierna sobre una línea ($t= 2,442$; $p= 0,021$), sostenerse en una pierna sobre una barra de equilibrio ($t= 3,848$; $p= 0,001$).

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio era determinar el efecto del entrenamiento de la fuerza para mejorar el equilibrio estático y dinámico en los niños con TDC. Los resultados indicaron que el programa de entrenamiento de la fuerza incrementa la fuerza muscular de los niños con TDC. Este hallazgo coincidió con ciertas investigaciones previas sobre TDC,^{15,16} aunque no fue congruente con los informes de Menz y col.,¹⁷ Sin embargo, la niña estudiada por Menz y col.,¹⁷ tenía 7 años de edad y presentaba apraxia, hipotonía y síntomas de retraso motor, además de TDC. Asimismo, su programa de entrenamiento de la fuerza incluyó el uso de máquinas de musculación. Por ello, podría decirse que la diferencia en el nivel y la gravedad de los trastornos de los sujetos de estos dos estudios y los distintos modelos aplicados son los principales motivos de incoherencia entre este estudio y el llevado a cabo por Menz y col.,¹⁷ El desarrollo de la fuerza consiste en la función coordinada de los sistemas nervioso, muscular y metabólico. Las adaptaciones se producen como resultado del entrenamiento de la fuerza y mejoraron la fuerza máxima, incluidas las adaptaciones neuronales, tales como el mayor reclutamiento de unidades motoras, la participación de las unidades motoras en los músculos agonistas, la estimulación más frecuente de las unidades motoras, la inhibición espontánea, el aumento de la cooperación neuromuscular y las adaptaciones musculares, como el mayor tamaño de la sección transversal de la fibra muscular y los cambios en la estructura muscular.^{26,27} Durante las primeras etapas del entrenamiento de la fuerza en niños, las adaptaciones neuronales son el principal mecanismo para aumentar la fuerza.²⁸ Por lo tanto, es posible que ciertas

adaptaciones neuronales que se producen a nivel muscular debido a la mayor coordinación inter- e intramuscular sean la causa del incremento de la fuerza de los sujetos del estudio.²⁹

En otra parte de los resultados, se observó que el entrenamiento de la fuerza provoca mejoras significativas del equilibrio estático en los niños con TDC. Estos hallazgos coinciden con los de Kaufman y Schilling,¹⁵ Kane y Bell¹⁶ y Menz y col.,¹⁷ aunque no con los resultados de Granacher y Gollhofer,¹⁸ de Granacher y col.,¹⁹ y de McCurdy y Langford.²¹ Tal vez la diferencia en los resultados se deba a las diferencias entre los participantes, los programas de entrenamiento y el método utilizado para medir el equilibrio. Si bien los sistemas somatosensitivo y vestibular tienen una función importante en el control del equilibrio,³⁰ el control postural adecuado depende de la biomecánica del sistema locomotor (estabilidad y estructura de la articulación), así como el control neuromuscular adecuado. De hecho, los músculos controlan, a través de las articulaciones, el equilibrio, y los músculos del tronco, la cadera, las rodillas y los tobillos tienen una función crítica en la regulación del equilibrio.³¹ Enoka³² considera que el aumento de la fuerza muscular a través del entrenamiento puede ser producto de los cambios en los mecanismos neuronales, incluidos el mayor rendimiento de los centros supraespinales, los cambios en las vías neuronales que reducen la actividad de los músculos antagonistas, el aumento de la actividad de los músculos agonistas o la comunicación eficaz mediante las vías interneuronales. Las adaptaciones neuronales específicas que tienen lugar en los músculos como resultado del entrenamiento de la fuerza se deben al aumento de la coordinación de tipo intramuscular o intermuscular, o de ambas. Las adaptaciones neuronales intramusculares incluyen la activación de las unidades motoras, la frecuencia de la activación, la sincronización de la activación de las unidades motoras y el reflejo miotático, mientras que las adaptaciones intermusculares son la activación de los músculos (sinérgicos) correspondientes y la co-contracción de los músculos antagonistas.³³ Por lo tanto, es posible concluir que las adaptaciones neuromusculares y la optimización de los músculos y las articulaciones sensoriales se produjeron como resultado del entrenamiento de la fuerza y mejoraron el equilibrio estático en los niños con TDC que participaron del estudio. Según los resultados, el entrenamiento de la fuerza no causó un efecto significativo sobre el

equilibrio dinámico de los niños con TDC. Los resultados coincidieron con los hallazgos de Bohannon²⁰ en pacientes derivados para recibir fisioterapia, de Granacher y Gollhofer,¹⁸ y de Granacher y col.,¹⁹ en niños prepúberes, aunque no fueron congruentes con los resultados de Kaufman y Schilling,¹⁵ de Kane y Bell,¹⁶ y de Menz y col.,¹⁷ en niños con déficit motor. Podría decirse que tales incongruencias se deben a los distintos métodos de investigación y evaluación del equilibrio y a la diferencia en el nivel y la gravedad del trastorno de los sujetos. Con base en los hallazgos de Granacher y Gollhofer,¹⁸ sería posible presentar la hipótesis de que distintos mecanismos neuromusculares son responsables de regular el control postural estático y dinámico. En consecuencia, podría razonarse que la postura estática está regulada y controlada por información visual y propioceptiva, mientras que la postura dinámica está organizada principalmente por información visual. En investigaciones previas, no se demostraron asociaciones significativas entre las variables del control postural y la fuerza muscular, tanto en niños^{18,19} como en adultos mayores.²¹ Granacher y Gollhofer¹⁸ no lograron detectar correlaciones significativas entre la alteración del control del equilibrio estático y dinámico, y las acciones musculares isométricas y dinámicas. Sobre la base de nuestros resultados y los hallazgos publicados en relación con distintos grupos etarios y metodologías de prueba,^{19,21} parecería factible argumentar que el control postural y la fuerza muscular son independientes uno del otro,¹⁸ y que esto se contradice con la suposición del enfoque por procesos.

El proceso del equilibrio se basa en dos factores: el sentido adecuado y la función muscular. El fortalecimiento de los músculos puede mejorar su función; de hecho, el equilibrio es el resultado de la interacción de los componentes sensoriales, tales como los sistemas vestibular, visual y de propioceptividad, que coordina las contracciones de los músculos de las piernas.³⁴ Según la teoría de los sistemas dinámicos, que recientemente se ha convertido en la base de las investigaciones sobre movimiento y equilibrio, la capacidad de controlar la postura corporal y el equilibrio en el espacio es el resultado de una interacción compleja entre diversos sistemas (locomotor y nervioso), y la importancia de cada sistema difiere según su objetivo de movimiento y las circunstancias.²¹ En este modelo, el sistema nervioso central utiliza los

datos recibidos de los sistemas visual, vestibular y somatosensible y se vuelve consciente del centro de gravedad del cuerpo y la superficie de soporte, y así activa los patrones motores preprogramados en forma de respuestas motoras.³⁵ Para justificar esto, podría decirse que, dado que una de las tareas del sistema vestibular es resolver los conflictos sensoriales, y este sistema funciona deficientemente en los niños con TDC,³ la tarea del equilibrio dinámico en estos niños no mejora con el mero entrenamiento de la fuerza y el aumento de la fuerza muscular. Por lo tanto, según el tipo de tarea y la función de los sistemas que participan, el resultado confirma la teoría de los sistemas dinámicos. Algunas de las limitaciones de este estudio son la falta de registros de datos sobre cambios neuromusculares y la función de otras componentes que participan en mantener el equilibrio, como el sistema vestibular y el cerebelo, y el tamaño pequeño de la muestra; por este motivo, cualquier generalización de los resultados debe hacerse con recaudos.

CONCLUSIONES

El entrenamiento de la fuerza mejora el equilibrio estático de los niños con TDC. No se observó una mejoría del equilibrio dinámico como resultado del entrenamiento de la fuerza en estos niños. ■

Agradecimiento

Quisiéramos agradecer a todos los niños que participaron de este estudio. En especial, agradecemos al Dr. Mohsen Damavandi, al Dr. Bouwien C.M. Smits-Engelsman, a Fahime Zoghi y a Dorothee Jelsma por su ayuda y respaldo técnico.

REFERENCIAS

1. American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th ed. Washington, DC; American Psychiatric Association: 2013.
2. Deconinck FJ, Savelsbergh GJ, De Clercq D, Lenoir M. Balance problems during obstacle crossing in children with Developmental Coordination Disorder. *Gait Posture* 2010;32(3):327-31.
3. Fong SS, Tsang WW, Ng GY. Taekwondo training improves sensory organization and balance control in children with developmental coordination disorder: a randomized controlled trial. *Res Dev Disabil* 2012;33(1):85-95.
4. Sugden D. Current approaches to intervention in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(6):467-71.
5. Chen HF, Tickle-Deghnan L, Cermak CA. The treatment effectiveness of top-down approaches for children with developmental coordination disorder: A meta-analysis. *J Occupat Ther Ass* 2003;21:16-28.

6. Mandich AD, Polatajko HJ, Macnab JJ, Miller LT. Treatment of children with Developmental Coordination Disorder: what is the evidence? *Phys Occup Ther Pediatr* 2001;20(2-3):51-68.
7. Mathiowetz V, Bass Haugen J. Evaluation of Motor Behavior: traditional and contemporary views. En: Trombly CA, ed. Occupational therapy for physical dysfunction. 4th ed. Boston: Lippincott Williams & Wilkins; 1995. Págs.157-85.
8. Barnhart RC, Davenport MJ, Epps SB, et al. Developmental coordination disorder. *Phys Ther* 2003;83(8):722-31.
9. Polatajko HJ, Kaplan BJ, Wilson BN. Sensory integration treatment for children with learning disabilities: Its status 20 years later. *Occupat Ther J Res* 1992;12(6):323-41.
10. Smits-Engelsman BC, Blank R, van der Kaay AC, Mosterd-van der Meijis R, et al. Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis. *Dev Med Child Neurol* 2013;55(3):229-37.
11. Kubilay NS, Yildirim Y, Kara B, Haruto lu Akdur H. Effect of balance training and posture exercises on functional level in mental retardation. *Fizyoter Rehabil* 2011;22(2):55-64.
12. Dibble LE, Hale TF, Marcus RL, Droge J, et al. High-intensity resistance training amplifies muscle hypertrophy and functional gains in persons with Parkinson's disease. *Mov Disord* 2006;21(9):1444-52.
13. Scholtes VA, Becher JG, Comuth A, Dekkers H, et al. Effectiveness of functional progressive resistance exercise strength training on muscle strength and mobility in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol* 2010;52(6):e107-13.
14. Keogh JW, Morrison S, Barrett R. Strength and coordination training are both effective in reducing the postural tremor amplitude of older adults. *J Aging Phys Act* 2010;18(1):43-60.
15. Kaufman LB, Schilling DL. Implementation of a strength training program for a 5-year-old child with poor body awareness and developmental coordination disorder. *Phys Ther* 2007;87(4):455-67.
16. Kane K, Bell A. A core stability group program for children with developmental coordination disorder: 3 clinical case reports. *Pediatr Phys Ther* 2009;21(4):375-82.
17. Menz SM, Hatten K, Grant-Beuttler M. Strength training for a child with suspected developmental coordination disorder. *Pediatr Phys Ther* 2013;25(2):214-23.
18. Granacher U, Gollhofer A. Is there an association between variables of postural control and strength in prepubertal children? *J Strength Cond Res* 2012;26(1):210-6.
19. Granacher U, Muehlbauer T, Maestrini L, Zahner L, et al. Can balance training promote balance and strength in prepubertal children? *J Strength Cond Res* 2011;25(6):1759-66.
20. Bohannon RW. Standing balance, lower extremity muscle strength, and walking performance of patients referred for physical therapy. *Percept Mot Skills* 1995;80(2):379-85.
21. McCurdy K, Langford G. The relationship between maximum unilateral squat strength and balance in young adult men and women. *J Sports Sci Med* 2006;5(2):282-8.
22. Mombarg R, Jelsma D, Hartman E. Effect of Wii-intervention on balance of children with poor motor performance. *Res Dev Disabil* 2013;34(9):2996-3003.
23. Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, Boyd LA. Brain activation of children with developmental coordination disorder is different than peers. *Pediatrics* 2010;126(3):e678-86.
24. Faigenbaum A, Myer GD. Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med* 2010;44(1):56-63.
25. Gupta S, Rao BK, Kumaran SD. Effect of strength and balance training in children with Down's syndrome: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2011;25(5):425-32.
26. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(2):364-80.
27. Hakkinen K, Alen M, Kaninen M, Newton RU, et al. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2000;83(1):51-62.
28. Ebersole KT, Housh TJ, Johnson GO, Perry SR, et al. Mechanomyographic and electromyographic responses to unilateral isometric training. *J Strength Cond Res* 2002;16(2):192-201.
29. Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 2001;534 (Pt 2):613-23.
30. Qiu F, Cole MH, Davids KW, Hennig EM, et al. Enhanced somatosensory information decreases postural sway in older people. *Gait Posture* 2012;35(4):630-5.
31. Alaranta H, Moffroid M, Elmqvist LG, Held J, et al. Postural control of adults with musculoskeletal impairment. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 1994;6(4):337-79.
32. Enoka RM. Neural strategies in the control of muscle force. *Muscle Nerve Suppl* 1997;5:66-69.
33. Hammett JB, Hey WT. Neuromuscular adaptation to short-term (4 weeks) ballistic training in trained high school athletes. *J Strength Cond Res* 2003;17(3):556-60.
34. Butler AA, Lord SR, Rogers MW, Fitzpatrick RC. Muscle weakness impairs the proprioceptive control of human standing. *Brain Res* 2008;1242:244-51.
35. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: theory and practical applications. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995.