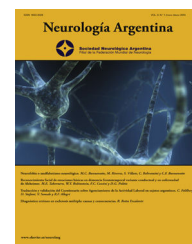




Sociedad Neurológica Argentina
Filial de la Federación Mundial
de Neurología

Neurología Argentina

www.elsevier.es/neurolarg



Artículo original

Análisis de los sistemas sensoriales que contribuyen al control postural en personas con síndrome de Down



Eduardo Guzmán-Muñoz^{a,*}, Guillermo Méndez-Rebolledo^a, Orlando Villouta-Gutiérrez^a, Yeny Concha-Cisternas^b y Pablo Valdés-Badilla^c

^a Escuela de Kinesiología, Facultad de Salud, Universidad Santo Tomás, Talca, Chile

^b Universidad Tecnológica de Chile INACAP, Talca, Chile

^c Pedagogía en Educación Física, Facultad de Educación, Universidad Autónoma de Chile, Temuco, Chile

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 8 de enero de 2018

Aceptado el 7 de febrero de 2019

On-line el 25 de abril de 2019

Palabras clave:

Síndrome de Down

Balance postural

Análisis de frecuencia

R E S U M E N

Introducción: El control preciso y eficaz de la postura requiere una adecuada integración de los sistemas sensoriales y motores.

Objetivo: Identificar la contribución de los sistemas sensoriales en el control postural de personas con síndrome de Down (SD).

Material y método: Muestra compuesta por 104 participantes con SD y desarrollo típico (DT), los cuales fueron divididos en grupos de niños, adolescentes y adultos. El control postural fue medido sobre una plataforma de fuerza en situación de ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC). Se realizó un análisis espectral de las señales y se obtuvieron las siguientes bandas de frecuencias: 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2 y 4 Hz. Se compararon personas con SD y DT.

Resultados: En adolescentes, la energía utilizada por las personas con SD fue mayor que las con DT para las bandas de 2 Hz ($p = 0,015$) y 4 Hz ($p = 0,012$) en OA y para las bandas 1/4 Hz ($p = 0,033$), 2 Hz ($p = 0,042$) y 4 Hz ($p = 0,047$) en OC. En adultos, las diferencias se observaron en 1/2 Hz ($p = 0,010$), 1 Hz ($p < 0,001$), 2 Hz ($p < 0,001$) y 4 Hz ($p < 0,001$) en OA y 1/4 Hz ($p = 0,027$), 1/2 Hz ($p = 0,005$), 1 Hz ($p = 0,001$), 2 Hz ($p < 0,001$) y 4 Hz ($p = 0,003$) en OC. En niños no se reportaron diferencias significativas entre los grupos.

Conclusiones: Los resultados de este estudio muestran que las personas con SD demandan en mayor medida los sistemas sensoriales para mantener la postura bípeda.

© 2019 Sociedad Neurológica Argentina. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: eguzmanm@santotomas.cl (E. Guzmán-Muñoz).

<https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2019.02.004>

1853-0028/© 2019 Sociedad Neurológica Argentina. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Analysis of sensory systems that contribute to postural control in people with Down syndrome

A B S T R A C T

Keywords:
Down syndrome
Postural balance
Frequency analysis

Introduction: The accurate and effective control of posture requires proper integration of the sensory and motor systems.

Aim: To identify the contribution of sensory systems in the postural control of people with Down Syndrome (DE).

Material and methods: The sample was composed of 104 participants, divided into groups of children, teenagers and adults with DS and typical development (TD). Postural control was measured on a forcé platform with open eyes (OE) and closed eyes (CE). A spectral analysis of the signals was performed and the following frequency bands were obtained: 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2 and 4 Hz. People with DS and TD were compared.

Results: In teenagers, the energy used by people with DS was higher than those with TD for the bands of 2 Hz ($P=.015$) and 4 Hz ($P=.012$) with OE and for the bands 1/4 Hz ($P=.033$), 2 Hz ($P=.042$) and 4 Hz ($P=.047$) with CE. In adults, the differences were observed at 1/2 Hz ($P=.010$), 1 Hz ($P<.001$), 2 Hz ($P<.001$) and 4 Hz ($P<.001$) with OE and 1/4 Hz ($P=.027$), 1/2 Hz ($P=.005$), 1 Hz ($P=.001$), 2 Hz ($P<.001$) and 4 Hz ($P=.003$) with CE. In children, no significant differences were reported between both groups.

Conclusions: The results of this study show that people with DS are more demanding on the sensory systems to maintain bipedal posture.

© 2019 Sociedad Neurológica Argentina. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El síndrome de Down (SD), también conocido como trisomía del par 21, corresponde a una alteración genética producida por la presencia de un cromosoma extra en dicho par¹. En Latinoamérica, la incidencia reportada de SD alcanza 1,88 casos por 1.000 nacidos vivos, siendo Chile el país con mayores tasas (2,47 por mil nacidos vivos)².

Dentro de las alteraciones funcionales más comunes que presentan las personas con SD se encuentra el déficit en la fuerza, resistencia muscular e hipotonía, lo que se traduce en el retraso de la adquisición de hitos del desarrollo motor y la dificultad de desarrollar habilidades motoras³. Se ha considerado que un adecuado control postural es la base en el desarrollo de habilidades motoras en personas con SD⁴. Estudios han reportado que niños, adolescentes y adultos con SD presentan un deterioro del control postural en comparación con sus pares con desarrollo típico (DT)⁵⁻⁷.

El control preciso y eficaz de la postura requiere el funcionamiento adecuado y la integración de múltiples sistemas sensoriales y motores. Como tal, las contribuciones del sistema visual, somatosensorial y vestibular en el control postural se han establecido desde hace mucho tiempo⁸. Diversas investigaciones han estudiado el control postural en personas con SD a partir de las oscilaciones del centro de presión (CP). Esta variable es medida a través de una plataforma de fuerza, la cual principalmente analiza la amplitud de la señal de oscilación del CP⁵⁻⁷. Sin embargo, el análisis espectral de

las oscilaciones posturales ha sido poco estudiado en esta población y, por lo tanto, no existen muchos antecedentes de las contribuciones de los sistemas sensoriales en el control postural de las personas con SD.

El análisis espectral de las oscilaciones posturales ha sido utilizado para investigar la influencia de los sistemas sensoriales sobre el control postural en jóvenes y adultos mayores sanos y con enfermedad (p. ej., esclerosis múltiple y parálisis cerebral)⁹⁻¹². Para este análisis, el espectro de energía de las excursiones del CP generalmente se dividen en 3 bandas de frecuencias: baja (< 0,1 Hz), media (0,1 a 1 Hz) y alta (> 1 Hz)¹³. Las frecuencias bajas están asociadas con la regulación visual, las frecuencias medias con regulación vestibular y las frecuencias altas con regulación somatosensorial. Redfern et al. (2001) proponen que los sistemas sensoriales son solicitados para mantener el control postural en rangos específicos de frecuencias de oscilación corporal. En frecuencias bajo los 0,1 Hz, el cuerpo demandaría principalmente el sistema visual. Los órganos otolíticos serían solicitados entre los 0,1 y 0,5 Hz y los canales semicirculares del sistema vestibular entre 0,5 Hz y 1 Hz. Frecuencias sobre 1 Hz solicitarían en mayor medida al sistema somatosensorial¹⁴. En este contexto, el análisis espectral de las oscilaciones posturales ayudaría a comprender las posibles alteraciones que sufren los sistemas sensoriales en las personas con SD y su repercusión en el control de la postura y desempeño motor.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue identificar la contribución de los sistemas sensoriales en el control postural de personas con SD.

Método

Este es un estudio observacional de tipo ex post facto. La muestra fue seleccionada de manera no probabilística y por conveniencia. El grupo con SD fue obtenido de 7 escuelas especiales de las ciudades de Talca y Linares (Región del Maule, Chile). Por su parte, el grupo con DT fue obtenido de 6 escuelas públicas de la misma región. Para seleccionar a los estudiantes con DT se buscó a personas con características basales similares a la muestra con SD (edad, peso, talla e IMC). Todos los participantes con SD y menores de edad con DT fueron autorizados por sus tutores legales mediante un consentimiento informado. Los adultos con DT leyeron y firmaron voluntariamente un consentimiento informado. El consentimiento y el consentimiento informado fueron aprobados por el comité de ética de la Universidad Santo Tomás (Chile) y basado en los principios dispuestos en la Declaración de Helsinki.

Participantes

La muestra fue compuesta por 104 participantes pertenecientes a la provincia de Linares, Región del Maule (Chile). Se dividieron en grupos de niños, adolescentes y adultos. Los grupos fueron compuestos por 32 niños entre 6 a 11 años (16 SD; 16 DT), 42 adolescentes entre 12 y 18 años (21 SD; 21 DT) y 30 adultos jóvenes entre 19 y 28 años (15 SD; 15 DT). Los participantes con SD y DT debían ser capaces de comprender instrucciones simples y caminar independientemente. Para ambos grupos, se consideraron los siguientes criterios de exclusión: lesiones musculoesqueléticas, cirugías de miembros inferiores, dolor en cualquier parte del cuerpo en el momento de la evaluación, trastornos vestibulares, trastornos visuales no corregidos y uso de ayuda técnica para la deambulacion.

Procedimiento

Las mediciones de las oscilaciones posturales fueron realizadas con una plataforma de fuerza ArtOficio (Artificio Ltda., Santiago, Chile), tamaño 40 × 40 cm. Los datos fueron adquiridos con una tasa de muestreo de 40 Hz. La medición del control postural se realizó en situación de ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC). Cada una de ellas con una duración de 30 s. Los participantes fueron instruidos en mantener la posición bípeda lo más quieta posible, con los brazos relajados al costado del tronco y con los pies con una separación similar al ancho de los hombros. Se calcularon las variables área y velocidad del CP utilizando el software Matlab r2012a. (Mathworks Inc., Natick, EE. UU.). Para el análisis espectral de las oscilaciones del CP se utilizó el software Igor Pro versión 5.01 (WaveMetrics Inc., Oregon, EE. UU.) y se realizó una operación matemática que transformó la señal de dominio de tiempo a dominio de frecuencia, método denominado transformada de Fourier. A partir de la excursión del CP, se obtuvieron las siguientes bandas de frecuencias: 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2 y 4 Hz. Se definió que la banda 1/16 Hz representaría el aporte del sistema visual, las bandas 1/8, 1/4, 1/2 y 1 Hz la participación del sistema vestibular y que las bandas 2 y 4 Hz corresponden a las contribuciones del sistema somatosensorial¹⁴.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS 23.0 para Windows (SPSS Inc., IL, EE. UU.). Se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene para determinar la distribución de normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza, respectivamente. Se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney para comparar las características basales de la muestra (edad, peso, talla e IMC), variables del CP y las bandas de frecuencia entre los grupos con SD y DT en cada rango etario. Se consideró un nivel alfa de 0,05 para todos los análisis.

Resultados

En la [tabla 1](#) se observan las características basales de la muestra (edad, peso y talla e IMC). En niños no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables comparadas ($p > 0,05$). En adolescentes se encontraron diferencias significativas en peso ($p = 0,032$) y talla ($p = 0,001$), mientras que en adultos las diferencias se dieron en talla ($p = 0,003$) e IMC (0,026).

Al comparar las variables del CP se observó un mayor valor de las variables velocidad OC ($p = 0,039$) y área OC ($p = 0,041$) en adolescentes con SD. En adultos, el grupo con SD también presentó mayores valores de las variables velocidad OA ($p = 0,021$), área OC ($p = 0,012$) y velocidad OC ($p < 0,001$). A pesar de que los niños con SD tienen mayores valores de las variables del CP en comparación con sus pares con DT, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

En niños, se observó una mayor energía utilizada por el grupo SD en todas las bandas de frecuencias analizadas. Esto ocurrió tanto en OA ([fig. 1](#)) como OC ([fig. 2](#)). Sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas.

En adolescentes, la energía utilizada por las personas con SD para mantener la postura fue mayor que las con DT, siendo significativa para las bandas de 2 Hz ($p = 0,015$) y 4 Hz ($p = 0,012$) en OA ([fig. 3](#)) y para las bandas de 1/4 Hz ($p = 0,033$), 2 Hz ($p = 0,042$) y 4 Hz ($p = 0,047$) en OC ([fig. 4](#)).

En adultos, se observaron diferencias estadísticas se observaron en 1/2 Hz ($p = 0,010$), 1 Hz ($p < 0,001$), 2 Hz ($p < 0,001$) y 4 Hz ($p < 0,001$) en OA ([fig. 5](#)) y 1/4 Hz ($p = 0,027$), 1/2 Hz ($p = 0,005$), 1 Hz (0,001), 2 Hz ($p < 0,001$) y 4 Hz ($p = 0,003$) en OC ([fig. 6](#)).

Discusión

Los resultados de este estudio muestran que las personas con SD demandan en mayor medida los sistemas sensoriales para mantener la postura bípeda, lo cual estaría directamente relacionado con el déficit del control postural encontrado en este grupo de personas. Coincidentemente con estudios previos, las alteraciones del control postural se evidencian en adolescentes y adultos, mientras que en niños solo se observan tendencias de un pobre equilibrio postural⁷. De acuerdo con nuestros resultados, las diferencias entre personas con SD y DT en los aportes sensoriales que contribuyen al control postural están dadas principalmente en los sistemas vestibular y somatosensorial. Si bien el sistema visual tiene una mayor

Tabla 1 – Características basales de los participantes (media ± desviación estándar)

	Niños		Adolescentes		Adultos	
	SD (n = 16)	DT (n = 16)	SD (n = 21)	DT (n = 21)	SD (n = 15)	DT (n = 15)
Edad (años)	7,45 ± 1,82	7,68 ± 1,51	15,03 ± 0,71	15,32 ± 0,65	20,42 ± 1,04	20,52 ± 1,31
Peso (kg)	31,23 ± 5,76	28,98 ± 6,02	54,97 ± 9,43	62,22 ± 8,52	63,29 ± 9,65	66,92 ± 9,16
Talla (m)	1,29 ± 0,09	1,31 ± 0,07	1,47 ± 0,05	1,64 ± 0,08	1,48 ± 0,07	1,65 ± 0,07
IMC	18,77 ± 1,32	16,90 ± 1,45	25,45 ± 4,56	23,15 ± 3,59	28,89 ± 5,03	24,58 ± 5,21

DT: desarrollo típico; IMC: índice de masa corporal; kg: kilogramos; m: metros; SD: síndrome de Down.

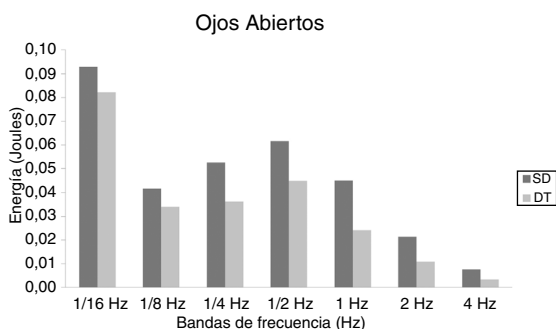


Figura 1 – Bandas de frecuencia en niños con SD y DT durante una postura bípeda con ojos abiertos.

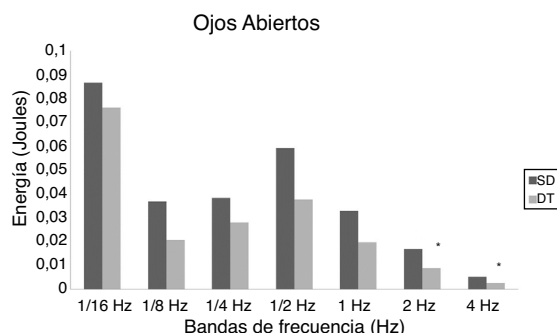


Figura 3 – Bandas de frecuencia en adolescentes con SD y DT durante una postura bípeda con ojos abiertos.

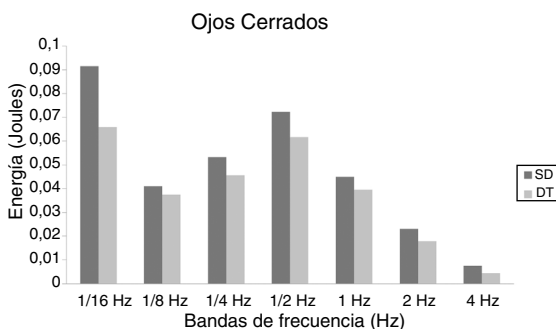


Figura 2 – Bandas de frecuencia en niños con SD y DT durante una postura bípeda con ojos cerrados.

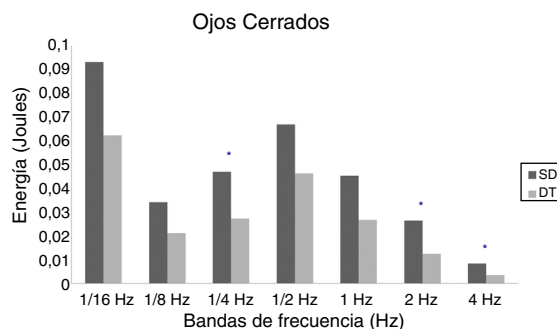


Figura 4 – Bandas de frecuencia en adolescentes con SD y DT durante una postura bípeda con ojos cerrados.

demanda en el grupo con SD, su diferencia no es significativa con el grupo de DT.

Las causas del déficit del control postural en personas con SD son multifactoriales. Algunos autores consideran que las limitaciones cognitivas, desórdenes neurológicos, alteración en la integración sensoriomotora y compromiso del sistema somatosensorial son las causas más influyentes en la pérdida del balance postural¹⁵⁻¹⁸. Asimismo, se cree que deficiencias biomecánicas como la hipoplasia del cartílago, hiperlaxitud ligamentosa y debilidad muscular podrían afectar negativamente a la posibilidad de generar torque y fuerza durante las contracciones musculares, lo cual impediría un adecuado control de la postura^{5,19}.

Se ha demostrado en modelos animales y humanos que el SD se asocia con una disminución del volumen cerebeloso debido, entre otras variables, a una reducción en la densidad

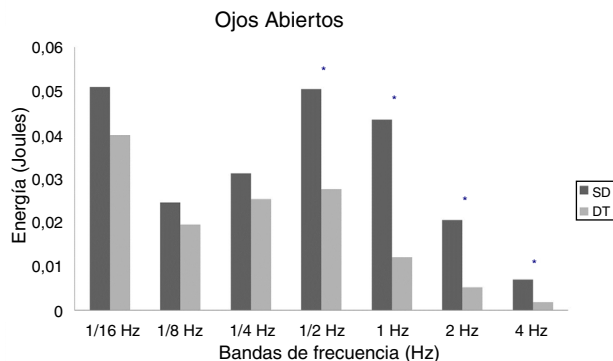


Figura 5 – Bandas de frecuencia en adultos con SD y DT durante una postura bípeda con ojos abiertos.

de células granulosas²⁰. El cerebelo trabaja en conjunto con la corteza y los ganglios basales en tareas cognitivas y motoras de variada complejidad, desde el establecimiento de mapas

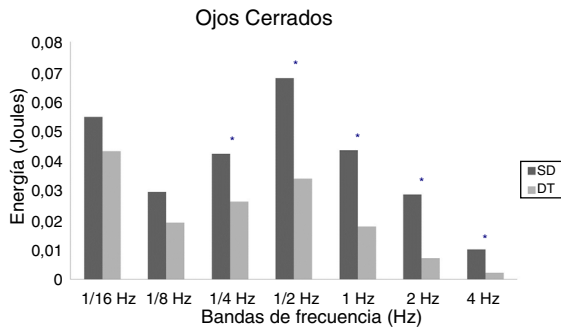


Figura 6 – Bandas de frecuencia en adultos con SD y DT durante una postura bípeda con ojos cerrados.

sensoriales hasta el razonamiento lógico²¹. Las células granulosas reciben aferencias de la corteza prefrontal dorsolateral (área 46 de Brodmann) que, en relación con la función motora, tiene una participación importante en la planificación, organización y regulación de las respuestas motoras²². Además, estas células también reciben información somatosensorial y vestibular para su posterior procesamiento cerebeloso²², por lo que resulta lógico encontrar una alteración en estos sentidos en tareas asociadas al control postural. A esta deficiencia funcional se le suma potencialmente hallazgos en modelos animales de SD, tales como la sobre-regulación de las concentraciones de la proteína DYRK1A, la cual influye en la disfunción de tareas que involucran coordinación, aprendizaje y control motor²³, y una sobreinhibición patológica de la corteza somatosensorial primaria²⁴. Esto de igual forma influye directamente en el control postural.

El mantenimiento del control postural es dependiente de los sistemas sensoriales y de su capacidad de integrar la información en el SNC para generar una respuesta motora adecuada a las necesidades del ambiente²⁵. Existe discrepancia en relación con la maduración fisiológica de los sistemas sensoriales y su contribución en el control postural. Algunos estudios señalan que la maduración de los sistemas sensoriales ocurre entre los 7-10 años, donde los patrones de respuestas son similares a los adultos^{26,27}. Contrariamente, otros autores indican que la maduración de estos sistemas se alcanza alrededor de los 14-15 años de edad²⁵. De acuerdo con nuestros resultados, las diferencias del control postural entre personas con SD y DT podrían estar fuertemente influenciadas por la maduración de los sistemas sensoriales y su contribución relativa. En este contexto, los niños (sistemas sensoriales inmaduros) no presentaron diferencias tanto en el control postural como en los aportes sensoriales. Por el contrario, los adultos (sistemas sensoriales maduros) con SD fueron poco eficaces en el uso de los sistemas vestibular y somatosensorial, lo cual se relaciona con mayores oscilaciones posturales. En personas con DT, el desarrollo progresivo de los sistemas sensoriales genera un mejor desempeño del control postural, el cual alcanza su mayor rendimiento en las primeras etapas de la adultez²⁷. Aparentemente, a partir de la adolescencia, los individuos con SD sufren un retraso o alteración de sus sistemas vestibular y somatosensorial que afecta al control postural. Esto acrecienta las diferencias entre personas con SD y DT a medida que el individuo madura. Conclusiones

similares proponen Carvalho y Vasconcelos, quienes consideran que los individuos con SD presentan un déficit somatosensorial asociado a una mayor dependencia del sistema vestibular²⁸.

Otra perspectiva interesante a considerar es que ambos grupos de niños, DT y SD, están en procesos latentes de remodelación neural para lograr una adaptabilidad funcional²⁹, por lo que es esperable que el rendimiento sea similar; sin embargo, ya en la adolescencia la red neural está bastante más definida y diferenciada, mostrando claras diferencias entre personas con DT y SD^{29,30}. Adultos con SD demostraron marcadas reducciones en la longitud/ramificación dendrítica y en la densidad de las espinas sinápticas en las neuronas piramidales de la corteza parietal y no piramidales de la corteza motora³⁰, lo cual puede potencialmente explicar las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos DT y SD de adolescentes y adultos. Estas diferencias entre la red neural adulta de la persona con DT y SD se justifica por la mala regulación de los periodos críticos del desarrollo neural en enfermedades relacionadas con alteraciones del neurodesarrollo, tal como lo es el SD³¹. Un periodo crítico alterado de base tiene efectos deletéreos en la conformación final de la red neural adulta³¹, lo cual influirá directamente en tareas de control postural.

La mayor demanda de los sistemas vestibular y somatosensorial en las personas con SD podrían deberse a un mecanismo de compensación a las mayores oscilaciones posturales que presentan durante una postura bípeda. Algunos autores han planteado que el uso de la información sensorial en personas con SD ayuda a disminuir las oscilaciones posturales^{15,32}. Según nuestros resultados, el uso de los sistemas sensoriales en las personas con SD es ineficiente en comparación con los DT, ya que a pesar de requerir en mayor medida la información sensorial, de igual forma su control postural es deficiente en comparación con las personas con DT. Se cree que las escasas experiencias sensoriomotoras experimentadas por los niños con SD influyen paulatinamente en el pobre desarrollo del control postural en etapas posteriores (adolescencia y adultez) y, por consiguiente, una mayor demanda de los sistemas sensoriales⁴.

Dentro de las limitaciones de este estudio se encuentra la selección por conveniencia de los participantes, lo cual puede restringir la validez externa del estudio. Por lo tanto, se recomienda para futuros estudios realizar un cálculo del tamaño de la muestra y aleatorizar la selección de los participantes.

En conclusión, nuestros resultados indican que las personas con SD demandan ineficazmente los sistemas sensoriales que contribuyen en el control de la postura en comparación con personas con DT. Estas diferencias son observadas en la adolescencia y adultez y, principalmente, en los sistemas vestibular y somatosensorial. Para la rehabilitación de personas con SD recomendamos aplicar intervenciones tempranas enfocadas en promover una estimulación e integración sensoriomotora que reduzca la probabilidad de alteraciones en el desarrollo del control postural.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dutta UR, Pidugu VK, Goud V, Dalal AB. Mosaic Down syndrome with a marker: Molecular cytogenetic characterization of the marker chromosome. *Gene*. 2012;495:199-204.
2. Nazer J, Cifuentes L. Estudio epidemiológico global del síndrome de Down. *Rev Med Chil*. 2011;82:105-12.
3. Sugimoto D, Bowen SL, Meehan WP, Stracciolini A. Effects of Neuromuscular training on children and young adults with down syndrome: Systematic review and meta-analysis. *Res Dev Disabil*. 2016;55:197-206.
4. Wang HY, Long IM, Liu MF. Relationships between task-oriented postural control and motor ability in children and adolescents with Down syndrome. *Res Dev Disabil*. 2012;33:1792-8.
5. Rigoldi C, Galli M, Mainardi L, Crivellini M, Albertini G. Postural control in children, teenagers and adults with Down syndrome. *Res Dev Disabil*. 2011;32:170-5.
6. Villarroya MA, Gonzalez-Aguero A, Moros-Garcia T, Marin MD, Moreno LA, Casajus JA. Static standing balance in adolescents with Down syndrome. *Res Dev Disabil*. 2012;33:1294-300.
7. Guzmán-Muñoz E, Gutiérrez-Navarro L, Miranda-Díaz S. Postural control in children, adolescents and adults with Down syndrome. *Rev Med Int Sindr Down*. 2017;21:6-12.
8. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: TRANSLATING research into clinical practice. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
9. Singh NB, Taylor WR, Madigan ML, Nussbaum MA. The spectral content of postural sway during quiet stance: Influences of age, vision and somatosensory inputs. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22:131-6.
10. Kanekar N, Lee YJ, Aruin AS. Frequency analysis approach to study balance control in individuals with multiple sclerosis. *J Neurosci Methods*. 2014;222:91-6.
11. Gatica-Rojas V, Elgueta-Cancino E, Guzmán-Muñoz E, Calderón-Soto D, Ampuero M. Sistemas sensoriales contribuyen a mantener el control postural en un sujeto atáxico: estudio exploratorio. *Rev Méd Maule*. 2011;27:38-44.
12. Gatica VF, Velasquez SI, Mendez GA, Guzman EE, Manterola CG. Differences in standing balance in patients with cerebral palsy and typically developing children. *Biomedica*. 2014;34:102-9.
13. Golomer E, Dupui P. Spectral analysis of adult dancers' sways: Sex and interaction vision-proprioception. *Int J Neurosci*. 2000;105(1-4):15-26.
14. Redfern MS, Yardley L, Bronstein AM. Visual influences on balance. *J Anxiety Disord*. 2001;15(1-2):81-94.
15. Vuillerme N, Marin L, Debu B. Assessment of static postural control in teenagers with Down syndrome. *Adapt Phys Activ Q*. 2001;18:337-41.
16. Latash ML, Anson JG. What are "normal movements" in atypical populations? *Behav Brain Sci*. 1996;19:55.
17. Moldrich RX, Dauphinot L, Laffaire J, Rossier J, Potier MC. Down syndrome gene dosage imbalance on cerebellum development. *Prog Neurobiol*. 2007;82:87-94.
18. Brandt BR, Rosen I. Impaired peripheral somatosensory function in children with Down syndrome. *Neuropediatrics*. 1995;26:310-2.
19. Ulrich BD, Haehl V, Buzzi UH, Kubo M, Holt KG. Modeling dynamic resource utilization in populations with unique constraints: Preadolescents with and without Down syndrome. *Hum Mov Sci*. 2004;23:133-56.
20. Menghini D, Costanzo F, Vicari S. Relationship between brain and cognitive processes in Down syndrome. *Behav Genet*. 2011;41:381-93.
21. Koziol LF, Budding DE, Chidekel D. From movement to thought: Executive function embodied cognition, and the cerebellum. *Cerebellum*. 2012;11:505-25.
22. Caligiore D, Pezzulo G, Baldassarre G, Bostan AC, Strick PL, Doya K, et al. Consensus paper: Towards a systems-level view of cerebellar function: The interplay between cerebellum, basal ganglia, and cortex. *Cerebellum*. 2017;16:203-29.
23. Arque G, Casanovas A, Dierssen M. Dyrk1A is dynamically expressed on subsets of motor neurons and in the neuromuscular junction: Possible role in Down syndrome. *PLoS One*. 2013;8:e54285.
24. Perez-Cremades D, Hernandez S, Blasco-Ibanez JM, Crespo C, Nacher J, Varea E. Alteration of inhibitory circuits in the somatosensory cortex of Ts65Dn mice, a model for Down's syndrome. *J Neural Transm*. 2010;117:445-54545.
25. Hirabayashi S, Iwasaki Y. Developmental perspective of sensory organization on postural control. *Brain Dev*. 1995;17:111-3.
26. Shumway-cook A, Woollacott MH. Dynamics of postural control in the child with Down syndrome. *Phys Ther*. 1985;65:1315-22.
27. Nolan L, Grigorenko A, Thorstensson A. Balance control: sex and age differences in 9-to 16-year-olds. *Dev Med Child Neurol*. 2005;47:449-54.
28. Carvalho RL, Vasconcelos DA. Motor behavior in Down syndrome: Atypical sensoriomotor control, prenatal diagnosis and screening for down syndrome. Rijeka: InTech. 2011.
29. Chaudhury S, Sharma V, Kumar V, Nag TC, Wadhwa S. Activity-dependent synaptic plasticity modulates the critical phase of brain development. *Brain Dev*. 2016;38:355-65.
30. Dierssen M, Ramakers GJA. Dendritic pathology in mental retardation: From molecular genetics to neurobiology. *Genes Brain Behav*. 2006;5:48-60.
31. Meredith RM. Sensitive and critical periods during neurotypical and aberrant neurodevelopment: A framework for neurodevelopmental disorders. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;50:180-8.
32. Gomes MM, Barela JA. Postural control in Down syndrome: The use of somatosensory and visual information to attenuate body sway. *Motor Control*. 2007;11:224-34.