

Investigación original

Efectos de la amplificación mecanoceptiva en el apoyo sobre la extremidad superior con parálisis obstétrica en un paciente pediátrico

Effects of mechanoceptive amplification on upper limb support in obstetric brachial palsy

👤 María Teresa Aliaga Vega¹, 👤 Jorge Loza Luis², 👤 Ismael Guillem Comes³,
👤 Alejandro Caña Pino⁴

¹ Diplomada en fisioterapia. Colegio Público de Educación Infantil y Primaria "Antonio Machado", Albacete, España. Consejería de Educación de Castilla, La Mancha, España.

² Ingeniero en Informática. Instituto de Educación Secundaria "García Pavón", Ciudad Real, España. Consejería de Educación de Castilla, La Mancha, España.

³ Arquitecto Técnico. Delegación Provincial de Economía y Empleo, Albacete, España. Junta de Comunidades de Castilla, La Mancha, España.

⁴ Departamento Terapéutica Médico-Quirúrgica. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Extremadura, Badajoz, España.

Resumen

Introducción. Las vibraciones artificiales tienen efectos sensoriomotrices favorables en la rehabilitación física.

Objetivo. Medir el efecto de la vibración ascendente por el sistema osteoarticular en la función de apoyo sobre la extremidad superior con daño neurológico temprano.

Métodos. Se implementó rehabilitación mediante un dispositivo que consta de sensor de presión, motor vibratorio y microprocesador en una paciente de cuatro años que sufre parálisis braquial obstétrica. La intervención se realizó en cuatro sesiones y en la segunda y tercera se aplicaron vibraciones durante el gateo. Se midieron las presiones media y máxima, la duración total de la actividad y el ratio de tiempo con retroalimentación incorporada.

Resultados. La presión media (94'16 y 86'95N frente a 21'80 o 66'05N), el ratio temporal con retroalimentación y la duración total aumentaron con las vibraciones, mientras que la presión máxima tendió a aumentar según avanzaba la tanda de sesiones.

Discusión. La retroalimentación vibratoria ha favorecido tanto la permanencia en la actividad motriz, como la cantidad y la magnitud de los apoyos corporales realizados sobre la extremidad estimulada.

Conclusión. La retroalimentación vibratoria parece ser una herramienta útil y adecuada en la rehabilitación de la extremidad superior de niños con parálisis braquial obstétrica.

Palabras clave. Dispositivos electrónicos portátiles, propiocepción, retroalimentación, rehabilitación neurológica, habilidades motoras.



Abstract

Introduction. Artificial vibrations have favorable sensorimotor effects on physical rehabilitation.

Objective. To measure the effect of ascending vibration through the osteoarticular system on support function over the upper extremity with early neurological damage.

Citación. Aliaga Vega MT, Loza Luis J, Guillem Comes I, Caña Pino A. Efectos de la amplificación mecanoceptiva en el apoyo sobre la extremidad superior con parálisis obstétrica en un paciente pediátrico. Rev Col Med Fis Rehab. 2025;35(2), e481. <http://doi.org/10.28957/rcmfr.481>.

Correspondencia. María Teresa Aliaga Vega. Correo electrónico: aliagamaite@gmail.com

Recibido. 11.03.25. **Aceptado.** 08.08.25. **Publicado.** 18.09.25.

ISSN impreso. 0121-0041. **ISSN electrónico.** 2256-5655.

Methods. Rehabilitation of a four-year-old female patient suffering from obstetric brachial palsy was implemented using a device consisting of a pressure sensor, a vibrating motor, and a microprocessor. The intervention was carried out in four sessions, and in the second and third sessions, vibrations were applied during crawling. The mean and maximum pressures, the total activity duration and the time ratio with build-in feedback were measured.

Results. The mean pressure (94'16 and 86'95N vs. 21'80 or 66'05N), the time ratio with feedback and the total duration increased with vibrations, while the maximum pressure tended to increase as the session series progressed.

Discussion. Vibratory feedback has favored both the permanence in motor activity and the amount and magnitude of body supports performed on the stimulated extremity.

Conclusion. Vibratory feedback appears to be a useful and appropriate tool in the rehabilitation of the upper extremity of children with obstetric brachial palsy.

Keywords. Wearable electronic devices; proprioception, feedback, neurological rehabilitation, motor skills.



Introducción

Se ha descrito que el uso de las vibraciones artificiales tiene efectos sensoriomotrices favorables^{1,2} en la rehabilitación física gracias a una modulación propioceptiva periférica que no influye directamente en el reclutamiento contráctil o en entidades centrales (sistema vestibular, cerebelo)^{3,4}.

Los dispositivos portátiles de retroalimentación sensorial, tanto para las extremidades inferiores como superiores^{5,6}, se utilizan cada vez más en estudios sobre patologías neurológicas como Parkinson y lesión medular. Al respecto, en una revisión sistemática, Aboutorabi *et al.*⁷ encontraron que diversas plantillas vibratorias subliminales que aplican entre 1Hz y 500Hz pueden mejorar el equilibrio y la marcha en adultos mayores, principalmente cuando estos son afectados por ictus o neuropatía diabética⁷.

Como retroalimentación en prótesis y asistentes robóticos, las vibraciones artificiales pretenden evocar sensaciones realistas e intuitivas para reducir la fatiga mental⁸⁻¹⁰. En este sentido, Gandolfi *et al.*¹¹, quienes realizaron una revisión sistemática sobre rehabilitación robotizada de la extremidad superior con esclerosis múltiple, concluyeron que las modalidades de retroalimentación sensorial más apropiadas pueden permitir centrarse en los aspectos cognitivos, emocionales y motivacionales de la recuperación motriz¹¹.

Los estudios sobre intervenciones de rehabilitación mediante vibraciones en población pediátrica son escasos y suelen utilizar dispositivos estáticos: Krause *et al.*¹² utilizaron una plataforma vibratoria de alternancia lateral en 44 niños con

parálisis cerebral espástica (25Hz), Hoşbaş & Sertel¹³ aplicaron un foco vibratorio (80Hz) en el antebrazo de 45 pacientes de 4 a 18 años con espasticidad leve a moderada (en los niveles 0, 1, 1+ y 2 según la Escala de Ashworth Modificada) y Argunsah & Yalcin¹⁴ utilizaron un cinturón vibratorio (frecuencia en Hz desconocida) en 12 niños con parálisis cerebral.

La prevalencia de la parálisis braquial obstétrica es de 1,4 casos por cada 1.000 nacimientos. Estas alteraciones neurológicas a edades tempranas comprometen gravemente el aprendizaje sensoriomotor de quienes la padecen, por lo que es indispensable que esta población reciba estimulación cotidiana como parte de su terapia.

La técnica de amplificación mecanoceptiva aplica ondas mecánicas de baja frecuencia (200Hz) y amplitud (0'005mm) que buscan ser ecológicas en lo cuantitativo (diana en corpúsculos Pacini) y lo cualitativo (ascendentes y sincronizadas a función de apoyo) con el fin de favorecer la organización postural, que es sustrato del movimiento¹⁵.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente estudio fue medir el efecto de la vibración ascendente por el sistema osteoarticular en la función de apoyo sobre la extremidad superior con daño neurológico temprano de una paciente pediátrica.

Métodos

Material

El prototipo electrónico mecanoamplificador portátil utilizado está compuesto por un sensor de

presión FSR adherido bajo la eminencia hipotenar que registra la carga ejercida, un motor giratorio de teléfono inteligente que comunica las vibraciones al extremo distal del hueso cúbito y un microprocesador Arduino MX5Stick que regula las dosis.

Participante, valoración e intervención

Niña de cuatro años con parálisis braquial obstétrica tipo Erb-Duchenne (raíces espinales C5-C6) de la extremidad superior derecha (Figura 1), quien

a nivel estructural tiene acortamiento óseo respecto a la extremidad superior izquierda, rangos pasivos completos (balance articular libre excepto supinación 45°) y debilidad en abducción de hombro, flexo-extensión de codo, pronosupinación, extensión de muñeca y dedos (balance muscular global 4/5). A nivel funcional la menor presenta inseguridad en cadena cerrada (se rehusa a cargar su peso sobre ese brazo en la sedestación, gateo o transferencias) y movilidad reducida en cadena abierta (rastreo, trepa y braceo al correr), mostrando buen desempeño manipulativo (nivel II en Manual Ability Classification System).

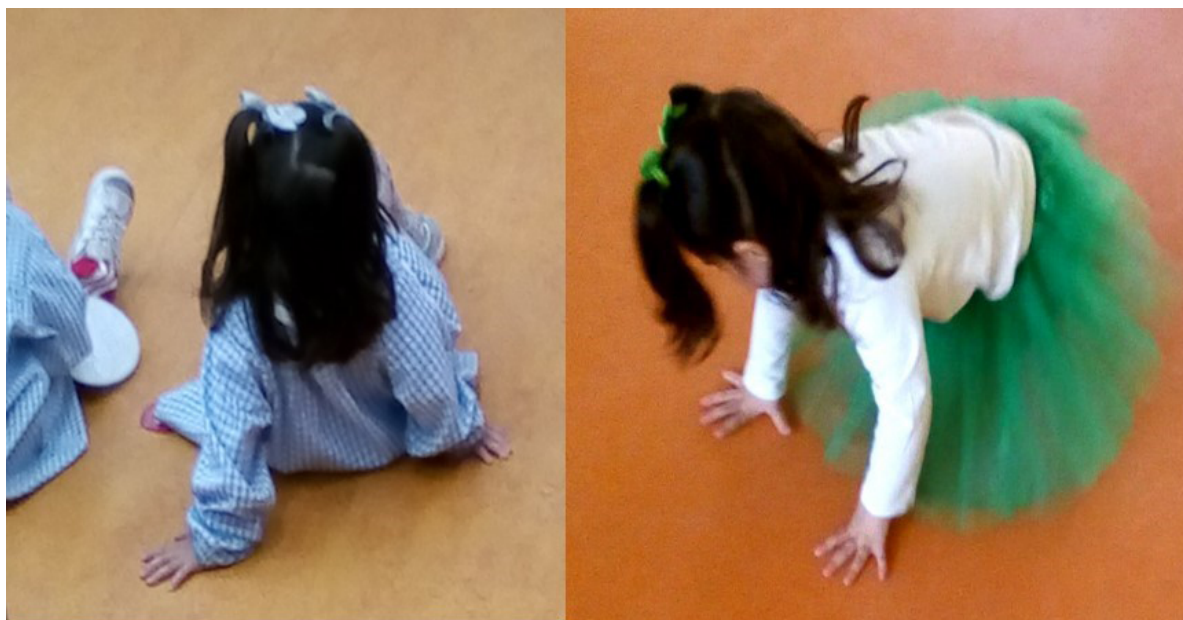


Figura 1. Paciente intervenida.

Fuente: fotografías tomadas en el centro escolar por la autora principal con el consentimiento previo de la familia.

Una vez a la semana, durante cuatro semanas, se colocó el mecanoamplificador en la mano derecha de la niña para que gateara con este por el suelo (Figura 1). En la segunda y la tercera sesión se aplicaron vibraciones y además se encendía una luz roja al alcanzarse un umbral mínimo preestablecido en 10N, mientras que la primera y la cuarta sesión solamente aparecía luz roja.

En cada sesión se midió la carga de peso corporal sobre el sensor, desde el primer evento de apoyo suficiente para desencadenar retroalimentación (vibración y/o iluminación) hasta el último de dichos eventos, cuando la niña decidía abandonar la actividad.

Variables a estudio

Como descriptores temporales:

- Duración total de la actividad motriz gateando por el suelo: t (seg)
- Ratio de tiempo con retroalimentación incorporado dentro del tiempo total: T/t (%)

Como indicadores de apoyo corporal sobre la extremidad superior estimulada:

- Presión máxima registrada por el sensor en cada sesión: P_{max} (N)

- Presión media durante cada sesión: Pmed (N)
- Presiones medias parciales por cada cuarto temporal de sesión: Pmed par (N)
- Ratio de presión media respecto de la presión máxima: Pmed/Pmax (%)

Resultados

A nivel observacional, el tiempo total de actividad fue de menos a más en la segunda y tercera semana (pasó de 122 segundos a 456 segundos), con vibraciones añadidas, mientras que en la primera y la cuarta semana fue de más a menos (pasó de 185 segundos a 92 segundos).

La ratio de tiempo con retroalimentación incorporada fue mayor en la segunda y la tercera semana (54'92% y 36'40%, respectivamente) que

en la primera y cuarta semana (24'86% y 21'98%, respectivamente).

La presión media fue mayor en la segunda y la tercera semana (94'16N y 86'95N, respectivamente) en comparación con la primera y la cuarta semana (21'80N y 66'05N, respectivamente).

La presión media parcial aplicada en la segunda y la tercera semana fue más elevada al inicio de la sesión para después descender paulatinamente (101'46N en el cuarto inicial, 85'87N y 68'64N en los cuartos temporales intermedios y 54'50N en el último cuarto), mientras que en la primera y la cuarta semana hubo una fluctuación independiente del momento.

La presión máxima fue aumentando desde la primera hasta la tercera semana (pasó de 44N a 289N). Aunque en la cuarta semana descendió un poco, se mantuvo por encima del inicio de la tanda de sesiones.

Tabla 1. Detalle de las sesiones con vibraciones aplicadas a la paciente.

Características de las sesiones de vibración	Primera sesión	Segunda sesión	Tercera sesión	Cuarta sesión
t (seg)	185	122	456	92
T/t (%)	24'86	54'92	36'40	21'98
P _{max} (N)	44	234	289	191
P _{med} (N)	21'80	94'16	86'95	66'05
P _{med} 1 ^{er} cuarto(N)	16'00	146'00	101'46	16'00
P _{med} 2 ^o cuarto (N)	31'91	69'38	85'87	191'00
P _{med} 3 ^{er} cuarto N)	0'00	16'00	68'64	62'00
P _{med} 4 ^o cuarto (N)	20'26	66'91	54'50	7'00
P _{med} /P _{max} (%)	49'56	40'24	30'09	34'58

Fuente: elaboración propia.

Discusión

En el presente estudio se buscó medir el efecto de la vibración ascendente por el sistema osteoarticular en la función de apoyo sobre la extremidad superior con daño neurológico temprano en una paciente pediátrica. Previamente, otros trabajos ya habían aplicado vibraciones transversales^{13,14} a tejidos diferentes al tejido óseo¹³ o en posturas estáticas^{12,13}. En este sentido, se había estudiado la movilidad activa, pero no la carga del peso corporal.

Teniendo en cuenta los resultados del presente estudio, es evidente que la retroalimentación

vibratoria portátil favorece tanto la permanencia en la actividad motriz, como la cantidad y magnitud de los apoyos sobre la extremidad estimulada. La mayor presión media ejercida coincidiendo con la amplificación mecanoceptiva revela cargas más fuertes y repetidas. Así mismo, la tendencia a aumentar la duración total de la actividad y la ratio de tiempo con retroalimentación sugiere un efecto motivador^{11,14} o facilitador, interpretación que se confirmaría al observarse una caída paulatina en la presión media parcial, fruto de la fatiga, luego de la aplicación de vibraciones.

Hipotéticamente, la información posicional aportada por los mecanosensores de longitud y

tensión músculo-tendinosos está complementada por el tacto profundo periarticular: ondas vibratorias naturales, originadas cuando el cuerpo interactúa con el entorno físico, se transmiten centrípetamente a través del esqueleto y son percibidas en los tejidos no contráctiles. La amplificación mecanoceptiva mejoraría la organización postural al realizar transferencias o desplazamientos por el suelo. Esto concuerda con resultados previos reportados sobre la extremidad inferior¹⁵ y motiva a considerarla una modalidad de retroalimentación ecológica y, por tanto, preferente.

En casos pediátricos siempre se han aplicado ondas mecánicas supraliminales ya que sus resultados son prometedores: mejores sinergias agonistas-antagonistas en las extremidades inferiores¹² y beneficios sobre parámetros de marcha¹⁴ o habilidad manual¹³.

La tendencia a aumentar la presión máxima que la participante fue capaz de ejercer sobre su mano derecha según avanza la tanda de sesiones indicaría un aprendizaje motriz acumulado.

Teniendo en cuenta estos resultados, es evidente que utilizar dispositivos portátiles dirigidos a la extremidad superior para la estimulación neuromotriz infantil es posible y deseable. La amplificación mecanoceptiva podría optimizar la organización postural en patologías como la parálisis braquial obstétrica o la parálisis cerebral.

La principal limitación del presente estudio es que un solo caso no permite realizar afirmaciones generales, por lo cual son necesarios ensayos con grupos de casos. Así mismo, el marco experimental se podría ampliar capturando datos basales previos y posteriores.

De igual forma, en futuras investigaciones se deben estudiar las vibraciones subliminales en población pediátrica, tal como se ha hecho en adultos, para poder diseñar ortesis sensoriales de uso continuado para el aparato locomotor, las cuales son potenciadoras del aprendizaje automático.

Conclusión

La amplificación mecanoceptiva como retroalimentación vibratoria ecológica, aplicada

a través del sistema osteoarticular y de forma simultánea al apoyo corporal, parece una modalidad adecuada de retroalimentación para la modulación propioceptiva periférica y optimización de la organización postural en la extremidad superior de población infantil.

Contribuciones de los autores

María Teresa Aliaga y Alejandro Caña Pino estuvieron a cargo de la conceptualización del estudio; María Teresa Aliaga Vega, Jorge Loza Luis e Ismael Guillem Comes, de la metodología; Ismael Guillem Comes y Alejandro Caña Pino, del análisis formal; María Teresa Aliaga Vega y Jorge Loza Luis, de la Investigación; María Teresa Aliaga Vega y Jorge Loza Luis, de la obtención de recursos; Jorge Loza Luis, Ismael Guillem Comes y Alejandro Caña Pino, del tratamiento de Datos; María Teresa Aliaga Vega, de la redacción y elaboración del borrador original; Alejandro Caña Pino, de la redacción, revisión y edición del artículo, y María Teresa Aliaga Vega, de la administración del proyecto Amplificación Mecanoceptiva.

Consideraciones éticas

Para la elaboración del presente estudio se siguieron los principios éticos para la investigación biomédica en seres humanos establecidos en la declaración de Helsinki¹⁶, y se obtuvo la firma del consentimiento informado por parte de la familia de la paciente.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado por los autores.

Financiación

Ninguna declarada por los autores.

Agradecimientos

A la participante y a sus familiares y acompañantes por su colaboración.

Referencias

1. Xie H, Song H, Schmidt C, Chang WP, Chien JH. The effect of mechanical vibration-based stimulation on dynamic balance control and gait characteristics in healthy young and older adults: A systematic review of cross-sectional study. *Gait & Posture*. 2023;102:18-38. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.02.013>.
2. De Angelis S, Princi AA, Dal Farra F, Morone G, Caltagirone C, Tramontano M. Vibro-tactile based rehabilitation on balance and gait in patients with neurological diseases: a systematic review and meta-analysis. *Brain Sci*. 2021;11(4):518-53. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/brainsci11040518>.
3. Lecce E, Nuccio S, Del Vecchio A, Conti A, Nicolò A, Sacchetti M, *et al*. Sensorimotor integration is affected by acute wholebody vibration: a coherence study. *Front. Physiol*. 2023;14:1266085. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1266085>.
4. Xu P, Song J, Fan W, Zhang Y, Guan Y, Ni C, *et al*. Impact of whole-body vibration training on ankle joint proprioception and balance in stroke patients: a prospective cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2024;25(1):768. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07906-z>.
5. Vendrame E, Capello L, Mori T, Baldi R, Controzzi M, Cipriani C. An instrumented glove for restoring sensorimotor function of the hand through augmented sensory feedback. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2024;32:2314-23. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2024.3415709>.
6. Kodali S, Vuong BB, Bulea TC, Chesler AT, Bönnemann CG, Okamura AM. Wearable sensory substitution for proprioception via deep pressure. *ArXiv [Preprint]*. 2023 [cited 2025 Aug 18]:arXiv:2306.04034v1. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/2306.04034>.
7. Aboutorabi A, Arazpour M, Bahramizadeh M, Farahmand F, Fadayevatan R. Effect of vibration on postural control and gait of elderly subjects: a systematic review. *Aging Clin Exp Res*. 2018;30(7):713-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0831-7>.
8. Peternell G, Penasso H, Luttenberger H, Ronacher H, Schlintner R, Ashcraft K, *et al*. Vibrotactile feedback for a person with transradial amputation and visual loss: a case report. *Medicina*. 2023;59(10):1710. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/medicina59101710>.
9. Malešević N, Antfolk C. Sensory feedback in upper limb prosthetics: advances and challenges. *Nat Rev Neurol*. 2024;20(8):449-50. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41582-024-00987-3>.
10. Anctil N, Malenfant Z, Cyr JP, Turcot K, Simoneau M. Less vibrotactile feedback is effective to improve human balance control during sensory cues alteration. *Sensors*. 2022;22(17):6432. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s22176432>.
11. Gandolfi M, Mazzoleni S, Morone G, Iosa M, Galletti F, Smania N. The role of feedback in the robotic assisted upper limb rehabilitation in people with multiple sclerosis: a systematic review. *Expert Rev Med Devices*. 2023;20(1):35-44. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17434440.2023.2169129>.
12. Krause A, Schönau E, Gollhofer A, Duran I, Ferrari-Malik A, Freyler K, *et al*. Alleviation of motor impairments in patients with Cerebral Palsy: acute effects of whole-body vibration on Stretch Reflex response, voluntary muscle activation and mobility. *Front. Neurol*. 2017;8:416. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00416>.
13. Hoşbaş BD, Sertel M. Immediate effects of kinesiotaping and vibration therapy on manual dexterity in children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomised controlled trial. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*. 2023;30(12):1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.12968/ijtr.2023.0047>.
14. Argunsah H, Yalcin B. Balance control via tactile biofeedback in children with cerebral palsy. *Acta Bioeng Biomech*. 2023;25(1):161-71. Disponible en: <https://doi.org/10.37190/ABB-02245-2023-03>.

15. Aliaga Vega MT, Hidalgo Díaz M, Guillem Comes I y Caña Pino A. Efectos posturales inmediatos de la amplificación mecanoceptiva en niños con disfunciones neuromotrices, valorados mediante una plataforma de presiones Wii Balance Board. Fisioterapia. 2022; 44(4): 224-33. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2021.07.006>
16. World Medical Association (WMA). WMA Declaration of Helsinki – Ethical principles for medical research involving human participants [Internet]. Helsinki: 75th WMA General Assembly; 2024 [citado agosto 18 de 2025]. Disponible en: <https://www.wma.net/es/polices-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>.