

Mejora del equilibrio y la estabilidad mediante una nueva aplicación sensorial: Tecnología de disparo vibrotáctil háptico

Juan Haddad¹, Baldeep S. Dhaliwal², Manny S Dhaliwal³ y Peter Hurwitz^{4*}

¹Universidad Americana, Beirut, Líbano.

²Toronto, Ontario, Canadá.

³Toronto, Ontario, Canadá.

⁴Clarity Science LLC, Narragansett, Rhode Island, EE.UU.

*Correspondencia:

Peter Hurwitz, Clarity Science LLC, 750 Boston Neck Road, Suite 11, Narragansett, RI 02882, Tel +1917 757 0521.

Recibido: 29 de noviembre de 2022; Aceptado: 13 de diciembre de 2022; Publicado: 19 de diciembre de 2022

Cita: Haddad J, Dhaliwal BS, Dhaliwal MS, et al. Mejora del equilibrio y la estabilidad mediante una nueva aplicación sensorial: tecnología de disparo vibrotáctil háptico. Int J Res Phys Med Rehabil. 2022; 1(1): 1-7.

ABSTRACTO

Introducción: La postura y el equilibrio están controlados predominantemente por mecanismos intrincados que fluctúan entre módulos sensoriales y motores ubicados en la médula espinal, el tronco del encéfalo y el cerebelo. Se basan en el ciclo continuo de sincronización del sistema sensorial (es decir, vestibular, visual, somatosensorial), el sistema cognitivo (sistema nervioso central) y el sistema musculoesquelético. A medida que envejecemos se producen cambios fisiológicos en cada uno de los sistemas sensoriales dando como resultado un mayor riesgo de caídas debido principalmente a las dificultades para mantener el control postural y el equilibrio.

Las comunicaciones del sistema nervioso periférico y central (SNP/SNC) son cruciales para determinar la entrada sensorial y la salida motora en respuesta a diversos estímulos externos e internos. Comprender las vías y redes neuronales asociadas con el control del equilibrio es crucial en neuropatología y cómo se ven influenciadas por estímulos externos y responden a ellos.

Se han identificado varios enfoques terapéuticos que han demostrado ser eficaces para ayudar a mejorar el equilibrio y la estabilidad, además de posiblemente prevenir, retrasar y revertir la fragilidad. Es posible que algunos de estos enfoques no sean una opción realista, ya que requieren un alto nivel de movilidad. Las estrategias alternativas, incluidas las nuevas tecnologías centradas en mejorar el equilibrio y la estabilidad, pueden resultar prometedoras para quienes tienen movilidad reducida o limitada.

El sistema neuromuscular junto con las vías neuronales están constantemente comprometidos, ya que el cuerpo debe adaptarse continuamente a los estímulos ambientales continuos para lograr un movimiento exitoso y prevenir caídas. La sincronización de los sentidos visual, vestibular y táctil debe trabajar junto con el sistema neuromuscular para controlar la alineación del cuerpo y promover la producción motora adecuada.

La tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) se dirige a las vías neuronales y fue diseñada y desarrollada para ayudar a mejorar el equilibrio, la estabilidad, el dolor, el sueño y otras áreas de la salud y el bienestar. La tecnología se ha incorporado en prendas de vestir y otras vías de administración no invasivas, como parches no farmacológicos, aparatos ortopédicos, muñequeras y mangas de compresión.

El propósito de este estudio de riesgo mínimo fue explorar los efectos de los calcetines mejorados con tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) y su efecto sobre el equilibrio y la estabilidad en aquellos pacientes que usaban calcetines de tela normales que no estaban integrados con la tecnología.

Métodos: Este estudio aprobado por la Junta de Revisión Institucional comparó la eficacia de la tecnología de activación vibrotáctil háptica (Superneuro VTT Enhanced Socks (Srysty Holding Co., Toronto, Canadá)) y su efecto sobre el equilibrio y la estabilidad con aquellos sujetos que usaban calcetines de tela regulares que eran no integrado con la tecnología. Sesenta y nueve (69) sujetos (n = 44 hombres, 25 mujeres) se inscribieron en el estudio después de dar su consentimiento. Se realizó una evaluación del equilibrio médico de Sway en cada sujeto mientras usaba los calcetines mejorados VTT y mientras usaba calcetines normales sin tecnología VTT. Se obtuvieron, evaluaron y compararon las puntuaciones generales de la evaluación del equilibrio médico de Sway para cada sujeto. Se realizó una prueba ANOVA F unidireccional para comparar e identificar el cambio en las medias en calcetines mejorados con VTT y calcetines regulares.

Resultados: Los resultados mostraron una diferencia clara y estadísticamente significativa en las puntuaciones de evaluación del equilibrio médico de Sway entre los sujetos que usaban calcetines normales y los calcetines mejorados con tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT). La diferencia media en las puntuaciones de evaluación del equilibrio médico de Sway entre los calcetines normales y los calcetines mejorados con VTT fue del 31 %, y el aumento y la respuesta positiva de los sujetos a los calcetines mejorados con VTT fueron significativamente mayores que con el tipo de calcetín normal.

Conclusiones: Los resultados del estudio indican que los sujetos que usaban calcetines con tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) demostraron una mejora en las puntuaciones generales de equilibrio y estabilidad. Los calcetines mejorados VTT parecieron influir en los centros de control de estabilidad y equilibrio neuromuscular y en las áreas sensoriales, cognitivas y musculoesqueléticas del cerebro. Tiene el potencial de convertirse en una opción de tratamiento y una solución beneficiosas para los médicos, sus pacientes y quienes padecen diversas dolencias, al tiempo que limita los riesgos asociados con los tratamientos convencionales. Los resultados respaldan una mayor investigación sobre el uso de esta tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) para confirmar el impacto en los componentes del equilibrio y la estabilidad, las actividades de la vida diaria (ADL) y la calidad de vida (QoL).

Palabras clave

Tecnología de gatillo vibrotáctil háptico, Equilibrio y estabilidad, Neuromatrix, Superneuro, calcetines mejorados VTT.

Introducción

La sensación y la percepción táctil a través de la piel es un mecanismo innato para la supervivencia humana y representa nuestra capacidad somatosensorial evolucionada y adaptativa para captar información a través de la háptica: el tacto activo para el reconocimiento y la percepción de objetos por parte de los centros superiores del cerebro [1,2]. La somatosensación identificada por un conjunto de receptores moleculares sensibles a una variedad de estímulos (térmicos, táctiles y mecánicos) es fundamental para la supervivencia, el control del equilibrio y la modulación del dolor.

Las comunicaciones del sistema nervioso periférico y central (SNP/SNC) son cruciales para determinar la entrada sensorial y la salida motora en respuesta a diversos estímulos externos e internos [3]. La corteza cerebral, además del tronco encefálico y el cerebelo en particular, desempeñan un papel fundamental en los mecanismos sensoriales, motores y de asociación, incluido el control del equilibrio humano.

Existe un mayor riesgo de caídas en los adultos mayores debido principalmente a las dificultades para mantener el control postural y el equilibrio mientras realizan las actividades de la vida diaria (AVD) [4,5].

El control postural y el equilibrio dependen del ciclo continuo de sincronización de varios sistemas: el sensorial (es decir, vestibular, visual, somatosensorial), el cognitivo (sistema nervioso central) y el musculoesquelético. A medida que uno envejece, se producen cambios fisiológicos en cada uno de los sistemas sensoriales [4,6,7].

Se han identificado varios enfoques terapéuticos que han demostrado ser eficaces para prevenir caídas en adultos mayores. La evidencia incluye regímenes de entrenamiento físico, incluidos ejercicios aeróbicos y de resistencia, para ayudar a restaurar y mantener la función, además de posiblemente prevenir, retrasar y revertir la fragilidad [8,9]. Debido a que algunos de estos enfoques requieren que los participantes tengan una gran movilidad, es posible que aquellos con baja movilidad no puedan beneficiarse de estos tratamientos. Por lo tanto, las alternativas al ejercicio para quienes tienen poca movilidad, incluidos ejercicios de equilibrio o coordinación o la incorporación de tecnologías recientemente identificadas, pueden proporcionar beneficios similares [10,11].

Las investigaciones han confirmado que al mejorar las AVD en personas con problemas de movilidad, existe una asociación directa con una alta calidad de vida (CdV) [12]. Comprender los diversos sistemas (sensoriales, cognitivos y musculoesqueléticos) y cómo pueden afectar los componentes de AVD y calidad de vida ayudará a los investigadores a identificar estrategias y enfoques alternativos para mejorar las personas con equilibrio, estabilidad y otros desafíos de movilidad.

A medida que las personas realizan sus actividades diarias normales, son susceptibles a cambios tanto en el equilibrio dinámico como en el estático. Las respuestas posturales automáticas que sostienen la estabilidad en la postura y el control del equilibrio, ya sean estáticas o dinámicas, como actividades motoras fisiológicas básicas que emanan de la columna polisináptica o transcortical,

bucles, están regulados neurobiológicamente por una intrincada red de mecanismos [13]. Controlar esos cambios es un desafío para el sistema neuromuscular, ya que el cuerpo debe adaptarse continuamente a los estímulos ambientales continuos para lograr un movimiento exitoso y prevenir caídas. La sincronización de los sentidos visual, vestibular y táctil debe trabajar junto con el sistema neuromuscular para controlar la alineación del cuerpo y promover la producción motora adecuada [6,14,15]. A medida que las personas envejecen, su equilibrio y estabilidad se ven afectados debido a los cambios fisiológicos y cognitivos mencionados anteriormente. Los investigadores continúan trabajando para identificar enfoques de control de equilibrio y estabilidad para quienes enfrentan estos desafíos [16].

Esencialmente, la postura y el equilibrio están controlados predominantemente por mecanismos intrincados que fluctúan entre módulos sensoriales y motores ubicados en la médula espinal, el tronco del encéfalo y el cerebelo [7]. (Recientemente, la evidencia ha demostrado que la corteza cerebral juega un papel crucial en la regulación de las vías neuronales implicadas con el equilibrio y la postura, como en las regiones corticales frontocentral y centroparietal. Esto, posteriormente, contribuye a la optimización del control del equilibrio. mecanismos a través de conectividad funcional dirigida y variable en el tiempo [7].

Desentrañar las vías y redes neuronales implicadas en el control del equilibrio es crucial en neuropatología [2]. Además, es probable que el impacto de estimulaciones externas o intervenciones experimentales module esas redes de vías [11].

Con neuroimagen y tecnologías avanzadas de procesamiento de señales, la optimización del control del equilibrio requiere módulos de conectividad funcional dirigidos, selectivos en frecuencia y de forma de onda, situados topográficamente y variables en el tiempo, medibles mediante el electroencefalograma (EEG) [17]. El registro de la actividad cerebral mediante EEG debido a mecanismos mecánicos, cognitivos y sensoriales relacionados con el control del equilibrio estático o dinámico ha desentrañado vías intrincadas y redes corticales que se correlacionan con paradigmas temporales y espaciales [13,18].

Se establece una posible correlación entre las modulaciones del EEG y la interferencia posterior con las actividades neuronales que probablemente estén involucradas con el control del equilibrio humano, ya que esto puede tener dimensiones neuropatológicas en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas y condiciones debilitantes [7].

Los investigadores han demostrado que la interferencia entre los estímulos externos y las fluctuaciones del EEG probablemente esté relacionada con las actividades neuronales relacionadas con el control del equilibrio humano, y se basan en el hecho de que los estímulos neuronales exógenos pueden afectar y cambiar los patrones de las formas de onda del EEG que crean fluctuaciones y respuestas que probablemente estén coordinadas. mecánica, sensorial y cognitivamente, para mantener el control del equilibrio estático y dinámico [7,11].

La tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) se dirige a las vías neuronales y se teoriza que altera la neuromatriz. La tecnología se ha incorporado a prendas de vestir y otros productos no

vías de administración invasivas, como parches no farmacológicos, aparatos ortopédicos, muñequeras y mangas de compresión [19].

Dhaliwal et al. (2022) examinaron específicamente los mecanismos neuronales asociados con los efectos de la estimulación del pie en los patrones de EEG mediante la evaluación del VTT y cómo puede afectar e influir en la neuromatriz. Dado que esos patrones están estrechamente relacionados con el control del equilibrio humano, existe evidencia convincente que indica que la manipulación de los circuitos neuronales puede afectar las oscilaciones de las formas de onda del EEG y, posteriormente, el control del equilibrio dependiente del motor [11]. Además, se ha teorizado que cuando se aplica un patrón somatosensorial de estimulación a la región metatarsiana del pie mediante la incorporación de tecnología de activación vibrotáctil háptica, se puede mejorar el equilibrio y la coordinación del movimiento debido a la influencia que esta estimulación tiene en los niveles sensorial, sistemas cognitivo y musculoesquelético [11]. Como consecuencia, el patrón somatosensorial de estimulación (tecnología de activación vibrotáctil háptica) se tejió e incorporó en calcetines y se usó en los pies para facilitar los efectos de la estimulación somatosensorial de la región metatarsiana de la planta de los pies sobre el sistema nervioso central y periférico. sistema. El propósito de este estudio de riesgo mínimo fue explorar los efectos de los calcetines mejorados con tecnología de activación vibrotáctil háptica y su efecto sobre el equilibrio y la estabilidad en aquellos pacientes que usaban calcetines de tela normales que no estaban integrados con la tecnología.

Métodos

Diseño del estudio

Este estudio fue un ensayo aprobado por la Junta de Revisión Institucional cuyo objetivo fue comparar la eficacia de la tecnología de activación vibrotáctil háptica (Superneuro VTT Enhanced Socks (Srysty Holding Co., Toronto, Canadá) y su efecto sobre el equilibrio y la estabilidad con aquellos pacientes que usaban calcetines de tela normales. que no estaban integrados con la tecnología (ver fotos 1 y 2). La estimación del tamaño de la muestra a priori indicó una población deseada de 36 para un tamaño del efecto de 0,25.

Sesenta y nueve (69) sujetos (n = 44 hombres, 25 mujeres) se inscribieron en el estudio después de dar su consentimiento. Los criterios de inclusión incluyeron: (a) ningún dolor actual que limite el movimiento, y (b) ninguna afección en el pie o la rodilla que limite la capacidad de usar los calcetines, realizando una Evaluación de equilibrio médico de Sway con calcetines normales y luego el sujeto reemplazando los calcetines normales con los calcetines mejorados VTT y completar nuevamente la evaluación Sway Medical Balance.

A los sujetos inscritos se les dieron 2 pares de calcetines (calcetines mejorados con VTT y calcetines normales) y se les indicó que eligieran primero un par de cualquier tipo de calcetín. No se les indicó que eligieran uno u otro para la primera evaluación. Después de colocar un par en sus pies, a los sujetos se les aplicó la Evaluación de equilibrio médico Sway. Esta evaluación tarda aproximadamente 15 minutos en completarse. Después de completar la primera evaluación, los sujetos tuvieron un intervalo de 5 a 10 minutos en el que descansaron, se quitaron el primer par de calcetines y luego se colocaron el segundo par de calcetines en los pies. Luego se volvió a realizar la evaluación del equilibrio médico de Sway. Los datos fueron recopilados y registrados durante cada una de estas evaluaciones.

El Sway Balance System es un sistema de prueba de equilibrio móvil aprobado por la FDA que mide y califica el equilibrio de un individuo.

y estabilidad y puede usarse para monitorear signos de disfunción relacionada con el equilibrio [20].

El sistema Sway Medical Balance mide la estabilidad utilizando los sensores de movimiento integrados de cualquier dispositivo móvil iOS para cuantificar el balanceo postural. Mientras el dispositivo se presiona contra el pecho, un algoritmo de análisis de movimiento patentado calcula la estabilidad y proporciona un valor fácil de entender en una escala de 100 puntos, donde 100 es completamente estable y 0 es inestable.

La puntuación general se compone de la media estadística de todas las puntuaciones de las pruebas anteriores y sirve como punto de referencia o control que se puede comparar con la puntuación más reciente para detectar cambios.

Una puntuación general de Sway Medical Balance de entre 80 y 85 se encuentra en el percentil 50. Las puntuaciones generales entre <80, el percentil 25, y las puntuaciones generales entre >85 y 95 se encuentran en el percentil 75.

Se realizó la prueba ANOVA F unidireccional para comparar e identificar el cambio en las medias en calcetines mejorados con VTT y calcetines regulares. Puntajes generales: (ANOVAN, Matlab, MathWorks, Inc.), con comparaciones HSD de Tukey post-hoc para identificar diferencias entre los 2 calcetines. tipos (Superneuro VTT Enhanced Socks y Regular Socks) y entre lados (MULTCOMPARE, Matlab, MathWorks, Inc.).

Para todas las pruebas se utilizó un nivel de significancia a priori de = 0,05.

Se calcularon pruebas t pareadas entre los calcetines regulares/estándar y los calcetines mejorados Superneuro VTT para cada sujeto, así como pruebas t pareadas de grupo.

El protocolo del estudio fue aprobado por una junta de revisión institucional y se realizó en total conformidad con las reglas de la Ley de Responsabilidad y Portabilidad del Seguro Médico de 1996 (HIPAA) y los principios de la declaración de Helsinki y el consejo internacional de Armonización/GCP. Todos los pacientes dieron su consentimiento informado y por escrito.

Intervención con tecnología de disparo vibrotáctil háptico (VTT)



Foto 1: El calcetín mejorado Superneuro VTT.



Foto 2: El calcetín mejorado Superneuro VTT.

Procedimientos de estudio y evaluaciones

Análisis estadístico

Para todas las variables, se calcularon estadísticas descriptivas, incluidas frecuencias y porcentajes para variables categóricas y medias con desviación estándar (DE) para variables continuas. Para cada análisis estadístico se utilizó el tamaño máximo de muestra disponible. Se calcularon pruebas t pareadas entre los calcetines regulares/ estándar y los calcetines mejorados Superneuro VTT para cada sujeto, así como pruebas t pareadas de grupo.

Se estableció un alfa de dos colas en 0,05 para todas las comparaciones estadísticas. Para todos los análisis se utilizó SPSS v. 27.

Resultados

Los resultados mostraron una diferencia clara y estadísticamente significativa en las puntuaciones de evaluación del equilibrio médico de Sway entre los sujetos que usaban calcetines normales y los calcetines mejorados con VTT.

El análisis de los datos mostró que la puntuación general de la evaluación del equilibrio médico de Sway fue significativamente mayor para los calcetines mejorados VTT (media = 89,470; $p < 0,005$) con un intervalo de confianza (IC) del 95% [87,769, 91,171] en comparación con los calcetines normales (media = 68,573) (Figuras 1-3).

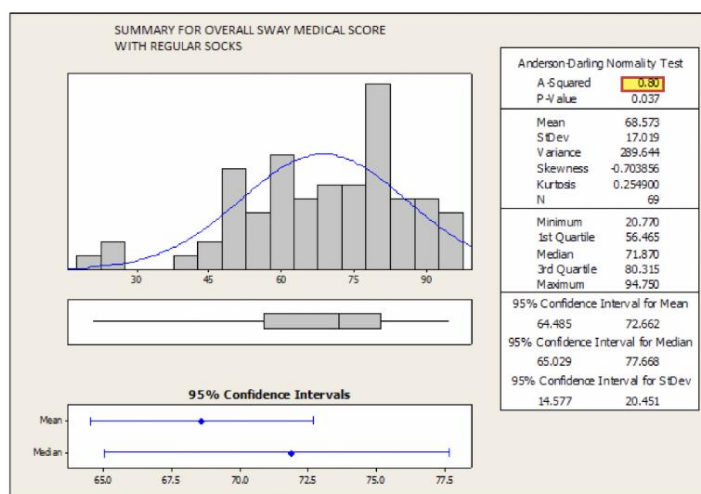


Figura 1

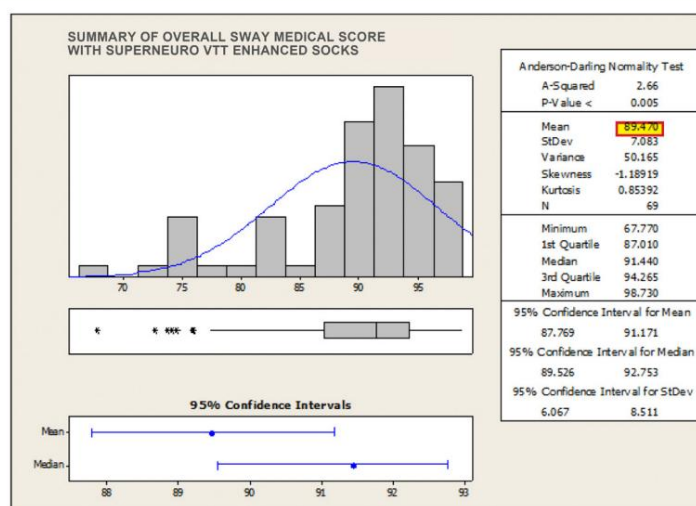


Figura 2

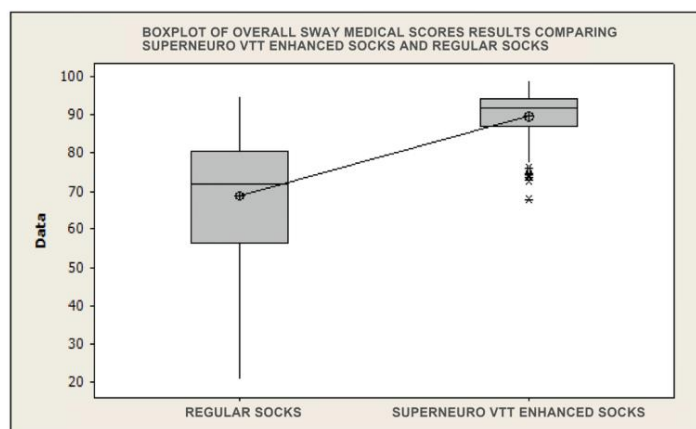


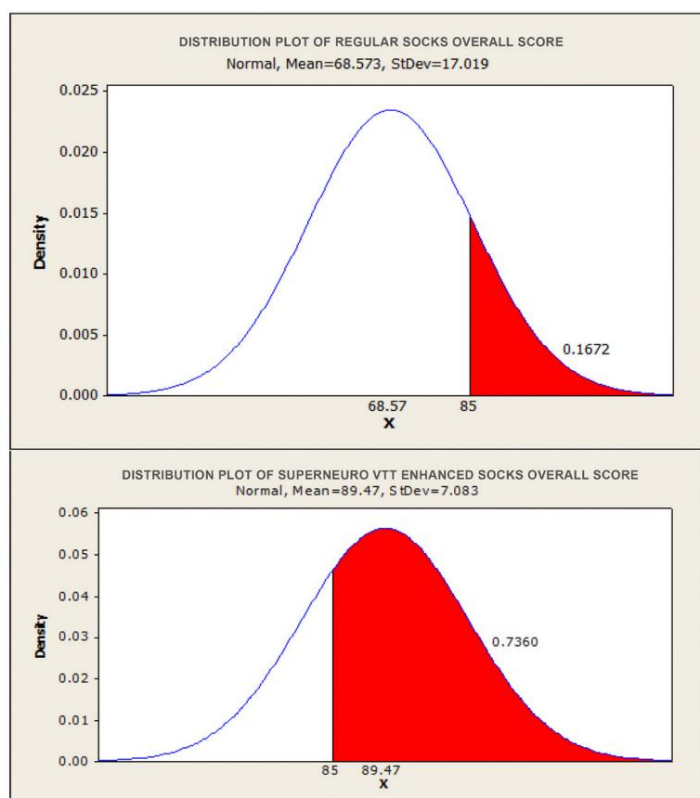
figura 3

Los calcetines mejorados VTT parecieron influir en el equilibrio neuromuscular y el control de la estabilidad durante la prueba Sway Medical Balance al aumentar la puntuación general en relación con los calcetines regulares (RS). La diferencia media en la puntuación de la Evaluación del equilibrio médico de Sway entre los calcetines normales y los calcetines mejorados VTT fue del 31 %, y el aumento fue significativamente mayor con el tipo de calcetín mejorado, lo que resultó en un mayor nivel de equilibrio y estabilidad para quienes usaban los calcetines mejorados VTT.

También se observó que el tipo de calcetín mostró una diferencia significativa en la distribución de la puntuación de evaluación del equilibrio médico del balance general. Mientras que la condición de calcetines regulares (RS) arrojó solo un conjunto de datos de sujetos que registraron un 16,72 % con una puntuación de evaluación del equilibrio médico de balance general superior al 85 %. Los calcetines mejorados con VTT, por otro lado, mostraron una distribución general mucho mayor de la puntuación de evaluación del equilibrio médico de Sway, con un 73,6 % de los sujetos con una puntuación superior al 85 % (consulte las Figuras 4 y 5).

Seguridad

Los pacientes no informaron reacciones cutáneas adversas, eventos adversos o eventos adversos graves mientras usaban los calcetines con tecnología de activación vibrotáctil háptica o los calcetines normales.



Figuras 4 y 5

Discusión

Cada vez hay más pruebas de que las terapias innovadoras basadas en tecnología, como la tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT), respaldan mecanismos mejorados de activación cerebral en "tareas de control del equilibrio", independientemente de los sucesos sensoriales, cognitivos o mecánicos [21,22]. Los resultados de este estudio muestran que la tecnología VTT aumenta el equilibrio y la estabilidad entre los sujetos que usan calcetines mejorados con VTT en comparación con aquellos que no usan calcetines integrados con la tecnología. Estas "tareas de control del equilibrio" son de naturaleza dual, dado que son perturbaciones tanto sensoriales (visuales, somatosensoriales y vestibulares) como mecánicas (traslaciones de la superficie de apoyo) que correlativamente eluden las respuestas motoras que emanan de los déficits del equilibrio.

Otro descubrimiento clave identificó redes neuronales en la línea media de la corteza de asociación somatosensorial posterior (SAC), que se encuentra dentro de la corteza parietal que está vinculada con la corteza premotora. El SAC participa en la integración somatosensorial a través de las formas de onda theta. En particular, el mapeo EEG ha revelado actividad theta comprometida dentro del SAC, lo que corrobora la hipótesis de que los centros cognitivos superiores participan en el control del equilibrio [2,3,7,23]. La tecnología de mapeo desarrollada por Strydy Holdings (Toronto, Canadá) y que se incorpora a los calcetines mejorados VTT ha revelado influencia en patrones en las neurovías que son fundamentales para identificar los desafíos y limitaciones de los enfoques actuales en el tratamiento de condiciones asociadas con la postura, equilibrio y movilidad.

Investigaciones adicionales sobre las redes corticales han demostrado la participación de la región de la corteza motora primaria, que comprende una red que

emana del SAC, representando así el control somatotópico de situaciones de equilibrio tanto estáticas como dinámicas. Este mapeo también ha identificado una dimensión de secuenciación y planificación motora, además de la iniciación e inhibición del movimiento [18,24,25].

Curiosamente, ambos mecanismos implicaron ondas alfa en áreas corticales inhibidas, lo que sugiere que esta caída es una pérdida de inhibición necesaria para promover decisiones cognitivas para mantener el control del equilibrio y la estabilidad. La estimulación vibrotáctil háptica se correlaciona con este razonamiento dada la observación de que hubo una inhibición estadísticamente significativa de la coherencia del EEG, lo que indica una mayor complejidad de la red neuronal y una capacidad cognitiva potencial en los participantes [11]. Se ha demostrado que esta tecnología influye en aquellas áreas del cerebro asociadas con el equilibrio y la movilidad, la energía y el dolor, mediante la modulación de diferentes vías neuronales.

Se teoriza que la tecnología VTT facilita el procesamiento de información somatosensorial durante el control del equilibrio, además de la integración, planificación y ejecución de respuestas relacionadas con el motor [11,21,26,27]. Por otro lado, la red alfa, que presumiblemente involucra vías ventrales y dorsales, promueve el procesamiento visual necesario para mantener una estabilidad óptima [21,28].

Anatomía de las formas de onda del EEG en paradigmas de control del equilibrio estático y dinámico: solución del enigma de las redes neuronales del EEG La secuencia

de la red del EEG puede considerarse como un conjunto de módulos que comprenden redes temporales y espaciales que abarcan las regiones corticales frontal, central y parietal. Comprender los paradigmas de control estático y dinámico en los módulos mecánicos, cognitivos y sensoriales es fundamental para determinar la dinámica del EEG en la evaluación de las redes de control del equilibrio [7,26].

Los resultados de este estudio corroboran el papel de los patrones de estimulación somatosensoriales en el control del equilibrio humano. Para verificar las consecuencias de la activación somatosensorial en el control del equilibrio humano, se tejió e incorporó a calcetines (calcetines mejorados con VTT) un patrón parecido a la activación somatosensorial y se usó en los pies para facilitar mejor los efectos de la estimulación somatosensorial de la región metatarsiana de la parte inferior del pie. los pies en los sistemas PNS y CNS, corroborando observaciones anteriores [7,23,29].

Identificar las vías neurológicas activadas por los calcetines mejorados con VTT es fundamental para comprender los resultados del equilibrio y el control de la postura. Aquí, la anatomía de esta dimensión se presenta en apoyo de proyecciones potencialmente prometedoras para mejorar los circuitos neuronales asociados con la postura y el equilibrio, respaldadas por evidencia proporcionada por estudios publicados en campos científicamente relevantes [7].

El componente somatosensorial de los calcetines mejorados con VTT reveló patrones que son consistentes con la sensación háptica y la teoría de la percepción táctil [1,2]. Brevemente, Reed y Ziat (2018) afirman lo siguiente: "El sistema háptico está diseñado para procesar las propiedades materiales de objetos y superficies a través de la mediación de subsistemas aferentes cutáneos y cinestésicos. El aspecto pasivo

La percepción háptica a menudo se denomina percepción táctil y se refiere a las sensaciones que se obtienen al ser tocados por objetos del mundo exterior. Los mecanorreceptores y termorreceptores de la piel (p. ej., estímulos cutáneos) contribuyen en gran medida a este aspecto táctil de la percepción háptica. Sin embargo, la percepción háptica también incluye el tacto activo y las sensaciones que resultan de la estimulación de receptores en músculos, tendones y articulaciones (p. ej., estímulos propioceptivos y cinestésicos). Nuestra comprensión de las bases neuronales de la percepción háptica desde la piel hasta el cerebro se basa en el estudio de las respuestas perceptivas y neurofisiológicas en animales y humanos". Evidentemente, la percepción háptica tiene componentes que están fuertemente asociados con elementos sensoriales, espaciales, propioceptivos y motores [2], todos los cuales son componentes integrales de la tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT), por lo que tiene un beneficio potencial para aplicar el concepto de la sensación háptica/táctil al desarrollo neuronal, la plasticidad y los circuitos implicados en el control del equilibrio humano, y quizás también a otros mecanismos [30,31].

Investigaciones anteriores han respaldado que la frecuencia de la banda alfa del EEG disminuye a medida que aumenta la dificultad del equilibrio en las áreas centrales y parietales [28,32]. La literatura reciente revisada por pares [11] mostró que los calcetines mejorados con VTT causaban oscilaciones en la frecuencia alfa de manera análoga.

Las investigaciones publicadas han demostrado inequívocamente que el sistema somatosensorial, como un sistema complejo de neuronas sensoriales y vías intrincadas que responden a cambios externos o internos, también participa en el mantenimiento del equilibrio postural al transmitir información sobre la posición del cuerpo al cerebro, lo que le permite activar el respuestas motoras apropiadas que controlan el movimiento [2,13].

En comparación con los calcetines mejorados sin VTT, este estudio muestra que los calcetines mejorados con VTT crean una respuesta que es indicativa de un mejor equilibrio y estabilidad entre los sujetos que participan en este estudio. El posible razonamiento para esta respuesta incluye que la tecnología de activación vibrotáctil háptica desencadena una forma o cascada de red neuronal que supuestamente se conecta con el módulo somatosensorial del cerebro y, por lo tanto, es probable que esté involucrada en la mediación de los mecanismos de control de la postura y el equilibrio en condiciones cuidadosamente controladas, consistente con observaciones anteriores, respaldadas científicamente [7,13].

Se recomienda realizar más investigaciones sobre la tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) para confirmar estos resultados. Si los datos sobre esta tecnología continúan mostrando resultados positivos en el equilibrio y la estabilidad, el manejo del dolor, la energía u otras áreas de estudio, entonces esta tecnología mejorada por VTT puede tener el potencial de tener un gran impacto en las actividades de la vida diaria (AVD), componentes de calidad de vida (CdV) y funcionalidad y bienestar general de la población.

Los resultados de este estudio mostraron una diferencia significativa en las puntuaciones de evaluación del equilibrio médico de Sway de aquellos que usaban calcetines mejorados Superneuro VTT en comparación con aquellos mismos sujetos que usaban calcetines regulares/estándar sin la tecnología integrada. Al igual que con otras investigaciones publicadas, el

Actualmente se desconocen los mecanismos exactos de acción de los calcetines mejorados con tecnología de gatillo vibrotáctil háptico sobre el sistema somatosensorial. Identificar opciones y enfoques de tratamiento alternativos, como VTT, que tengan efectos adversos mínimos, riesgos reducidos y carezcan de limitaciones para quienes pueden utilizar la tecnología, en comparación con los enfoques de tratamiento convencionales (p. ej., regímenes de entrenamiento físico que incorporan ejercicio aeróbico/anaeróbico) son necesarios para brindar mejores opciones a los médicos y a aquellos con funcionalidad reducida y que tienen problemas de equilibrio y estabilidad. Una mejor comprensión de la neuromatriz y la identificación e incorporación de tratamientos no farmacológicos novedosos agregarán importantes opciones seguras y efectivas al arsenal de un médico para respaldar una mejor atención al paciente.

Conclusión

Este estudio demostró una mejora en las puntuaciones generales de equilibrio y estabilidad en sujetos que usaban calcetines mejorados Superneuro VTT en comparación con los calcetines regulares (RS). Los calcetines mejorados VTT parecieron influir en el equilibrio neuromuscular y el control de la estabilidad. La incorporación de tecnología de activación vibrotáctil háptica en prendas y otras vías de administración no invasivas tiene el potencial de convertirse en una opción de tratamiento y una solución beneficiosas para los médicos, sus pacientes y quienes padecen diversas dolencias, al tiempo que limita los riesgos asociados con los tratamientos convencionales. Los resultados respaldan una mayor investigación sobre el uso de esta tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) para confirmar el impacto en los componentes del equilibrio y la estabilidad, las actividades de la vida diaria (ADL) y la calidad de vida (QoL).

Expresiones de gratitud

Este estudio aprobado por el IRB fue financiado por SRYSTY Holding CO., los distribuidores de los calcetines mejorados Superneuro VTT.

Divulgación

John Haddad, PhD recibió una compensación por la interpretación del estudio. Baldeep Dhaliwal, MD, no recibió compensación. Manny S Dhaliwal no recibió compensación. Peter L Hurwitz recibió una compensación por la revisión de datos y la interpretación del estudio.

Referencias 1.

- Fernandes AM, Albuquerque PB. Percepción táctil: una revisión de variables y procedimientos experimentales. *Proceso Cogn.* 2012; 13: 285-301.
- Reed CL, Ziat M. Percepción háptica: de la piel al cerebro. En *Módulo de Referencia en Neurociencia y Psicología Bioconductual*. 2018.
- Büchel D, Lehmann T, Ullrich S, et al. La estabilidad de la superficie y la pierna en apoyo modulan la actividad cortical durante la postura humana con una sola pierna. *Res. cerebral exp.* 2021; 239: 1193-1202.
- Rubenstein LZ. Caídas en personas mayores: epidemiología, factores de riesgo y estrategias de prevención. *Envejecimiento por edad.* 2006; 35, 37-41.
- Kojima G. La fragilidad como predictor de caídas futuras entre las personas mayores que viven en la comunidad: una revisión sistemática y un metanálisis. *J Am Med Dir Assoc.* 2015; 16: 1027-1033.

6. Horak FB. Orientación postural y equilibrio: ¿qué necesitamos saber sobre el control neuronal del equilibrio para prevenir caídas? *Envejecimiento por edad*. 2006; 35: 7-11.
7. Mierau A, Pester B, Hülsdünker T, et al. Correlatos corticales del control del equilibrio humano. *Topografía cerebral*. 2017; 30: 434-446.
8. de Vries NM, van Ravensberg CD, Hobbelen JS, et al. Efectos de la terapia con ejercicio físico sobre la movilidad, el funcionamiento físico, la actividad física y la calidad de vida en adultos mayores que viven en la comunidad con problemas de movilidad, discapacidad física y/o multimorbilidad: un metanálisis. *Envejecimiento Res Rev*. 2012; 11: 136-149.
9. de Labra C, Guimaraes-Pinheiro C, Maseda A, et al. Efectos de las intervenciones de ejercicio físico en adultos mayores frágiles: una revisión sistemática de ensayos controlados aleatorios. *BMC Geriatr*. 2015; 15: 154.
10. Kwok TC, Lam KC, Wong PS y col. Efectividad del ejercicio de coordinación para mejorar la función cognitiva en adultos mayores: un estudio prospectivo. *Clin Interv Envejecimiento*. 2011; 6: 261-267.
11. Dhaliwal BS, Haddad J, Debrincat M, et al. Cambios en el electroencefalograma (EEG) después de la estimulación del pie con tecnología de disparador vibrotáctil háptico integrado: consideraciones sobre la neuromatriz y la modulación del dolor. *Anestésico Res. Dolor*. 2022; 6(2): 1-11.
12. Dunskey A. El efecto de los ejercicios de equilibrio y coordinación sobre la calidad de vida en adultos mayores: una mini revisión. *Neurociencias del envejecimiento frontal*. 2019; 11: 318.
13. Rubega M, Formaggio E, Di Marco R, et al. Cortical se correlaciona con el equilibrio dinámico y estático erguido en los ancianos. *Representante de ciencia* 2021; 11: 14132.
14. Hayes KC. Biomecánica del control postural. *Ejercicio deportivo Sci Rev*. 1982; 10: 363-391.
15. Dunskey A, Zeev A, Netz Y. El rendimiento del equilibrio es una tarea específica en adultos mayores. *Biomed Res Int*. 2017; 2017: 6987017.
16. Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S. El ejercicio de mecanismos para el control dinámico de la estabilidad aumenta el rendimiento de la estabilidad en las personas mayores. *J Biomecánica*. 2011; 44: 52-58.
17. Thatcher RW. Electroencefalografía tomográfica, magnetoencefalografía. *Dinámica de la conmutación de redes neuronales humanas*. *J Neuroimagen*. 1995; 5: 35-45.
18. Slobounov S, Hallett M, Stanhope S, et al. Papel de la corteza cerebral en el control postural humano: un estudio de EEG. *Clínica Neurofisiol*. 2005; 116: 315-323.
19. Srysty Holding Co. Vox Life Inc. Toronto, Canadá.
20. Mummareddy N, Brett BL, Yengo-Kahn AM, et al. Aplicación móvil Sway Balance: confiabilidad, aclimatación y administración de referencia. *Clin J Sport Med*. 2020; 30: 451-457.
21. Slobounov S, Cao C, Jaiswal N, et al. Base neuronal de la inestabilidad postural identificada por VTC y EEG. *Res. cerebral exp*. 2009; 199: 1-16.
22. Solís Escalante T, van der Cruysen J, de Kam D, et al. Dinámica cortical durante la preparación y ejecución de respuestas reactivas de equilibrio con distintas demandas posturales. *Neuroimagen*. 2019; 188: 557-571.
23. Gebel A, Lehmann T, Granacher U. La dificultad de la tarea de equilibrio afecta el balanceo postural y la actividad cortical en adolescentes sanos. *Res. cerebral exp*. 2020; 238: 1323-1333.
24. Thatcher RW, Biver CJ, North D. Correlaciones de fuentes de corriente espacio-temporales y conectividad cortical. *Clin EEG Neurosci*. 2007; 38: 35-48.
25. Varghese JP, Beyer KB, Williams L, et al. Quedarse quieto: ¿tiene alguna función la corteza cerebral? *Neurosci Lett*. 2015; 590: 18-23.
26. Thatcher RW, Krause PJ, Hrybyk M. Asociaciones cortico-corticales y coherencia EEG: un modelo bicompartimental. *Electroencefalograma Clin Neurofisiol*. 1986; 64: 123-143.
27. Varghese JP, Staines WR, McIlroy WE. Actividad en redes corticales funcionales asociadas temporalmente con inestabilidad postural. *Neurociencia*. 2019; 401: 43-58.
28. Hülsdünker T, Mierau A, Strüder HK. Las mayores demandas de tareas de equilibrio se asocian con un aumento en la frecuencia máxima alfa individual. *Front Hum Neurosci*. 2016; 9: 695.
29. Ouchi Y, Okada H, Yoshikawa E, et al. Activación cerebral durante el mantenimiento de posturas de pie en humanos. *Cerebro*. 1999; 122: 329-338.
30. Tien NW, Kerschensteiner D. Plasticidad homeostática en el desarrollo neuronal. *Desarrollo neuronal*. 2018; 13: 9.
31. Yin J, Yuan Q. Homeostasis estructural en el sistema nervioso: un acto de equilibrio para conectar la plasticidad y la estabilidad. *Neurociencias de células frontales*. 2015; 8: 439.
32. Edwards AE, Guven O, Furman MD y
Correlatos electroencefalográficos de tareas posturales continuas de dificultad creciente. *Neurociencia*. 2018; 395: 35-48.