

Mejora del equilibrio y la estabilidad mediante una novedosa aplicación sensorial: Tecnología de activación vibrotáctil háptica

John 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, Estados Unidos.

*Correspondencia:

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

Recibido: 29 Nov 2022; Aceptado: 13 dic 2022; Publicado: 19 dic 2022

Citación: Haddad J, Dhaliwal BS, Dhaliwal MS, et al. Mejora del equilibrio y la estabilidad mediante una novedosa aplicación sensorial: Haptic Vibrotactile Trigger Technology. Int J Res Phys Med Rehabil. 2022; 1(1): 1-7.

RESUMEN

Introducción: La postura y el equilibrio están controlados predominantemente por intrincados mecanismos que fluctúan entre módulos sensoriales y motores situados en la médula espinal, el tronco encefálico y el cerebelo. Dependen del 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 que dan lugar a un mayor riesgo de caídas debido principalmente a las dificultades para mantener el control postural y el equilibrio.

Las comunicaciones entre el sistema nervioso periférico y el 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 en el control del equilibrio es crucial en neuropatología y cómo se ven influenciadas y responden a estímulos externos.

Se han identificado varios enfoques terapéuticos que han demostrado ser eficaces para ayudar a mejorar el equilibrio y la estabilidad, además de prevenir, retrasar y revertir la fragilidad. Algunos de estos enfoques pueden no ser 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 ser prometedoras para las personas con movilidad reducida o limitada.

El sistema neuromuscular, junto con las vías neurales, está en constante movimiento, ya que el cuerpo debe adaptarse continuamente a los estímulos ambientales para moverse con éxito y prevenir las caídas. La sincronización de los sentidos visuales, vestibulares y táctiles debe trabajar conjuntamente con el sistema neuromuscular para controlar la alineación del cuerpo y promover el rendimiento motor adecuado.

La tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) se dirige a las vías neurales y se diseñó y desarrolló 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 a prendas de vestir y otras vías de administración no invasivas, como parches no farmacológicos, ortesis, muñequeras y manguitos de compresión.

El objetivo de este estudio de riesgo mínimo era explorar los efectos de los calcetines mejorados con tecnología háptica de activación vibrotáctil (VTT) y su efecto en el equilibrio y la estabilidad, con aquellos pacientes que llevaban calcetines de tela normales no llevaban incorporada 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 los sujetos que llevaban calcetines de tela normales que no llevaban incorporada la tecnología. Sesenta y nueve (69) sujetos (n=44 hombres, 25 mujeres) se inscribieron en el estudio tras dar su consentimiento. A cada sujeto se le realizó una Evaluación Médica del Equilibrio durante el uso de los Calcetines Mejorados VTT y durante el uso de calcetines normales sin la tecnología VTT. Se obtuvieron, evaluaron y compararon las puntuaciones totales de la Evaluación Médica del Equilibrio Sway para cada . Se realizó una prueba ANOVA F unidireccional para comparar e identificar el cambio en las medias de los calcetines mejorados VTT y los calcetines normales.

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

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

Palabras clave

Tecnología de activación vibrotáctil háptica, Equilibrio y estabilidad, Neuromatrix, Superneuro, Calcetines mejorados VTT.

Introducción

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

Las comunicaciones entre el sistema nervioso periférico y el 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 se 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 se 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 las caídas en los adultos mayores. La evidencia incluye regímenes de entrenamiento físico, incluyendo ejercicios aeróbicos y de resistencia, para ayudar a restaurar, 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, aquellos con poca movilidad pueden verse limitados a la hora de beneficiarse de estos tratamientos. Por lo tanto, las alternativas al ejercicio para aquellos que tienen poca movilidad, incluyendo ejercicios de equilibrio o coordinación o incorporando tecnologías recientemente identificadas, pueden proporcionar beneficios similares [10,11].

Las investigaciones han confirmado que la mejora de las AVD en personas con problemas de movilidad está directamente relacionada con una mayor calidad de vida [12]. Comprender los distintos sistemas (sensorial, cognitivo y musculoesquelético) y cómo pueden afectar a los componentes de la AVD y la calidad de vida ayudará a los investigadores a identificar estrategias y enfoques alternativos para mejorar el equilibrio, la estabilidad y otros problemas de movilidad.

A medida que las personas realizan sus actividades cotidianas normales, son susceptibles de sufrir cambios en el equilibrio tanto dinámico como estático. Las respuestas posturales automáticas que mantienen la estabilidad de la postura y el control del equilibrio, ya sea estático o dinámico, son actividades motoras fisiológicas básicas que emanan de la médula espinal polisináptica o de la corteza transcortical.

están regulados neurobiológicamente por una intrincada red de mecanismos [13]. Controlar estos cambios es un reto para el sistema neuromuscular, ya que el cuerpo debe ajustarse continuamente a los estímulos ambientales para moverse con éxito y prevenir las caídas. La sincronización de los sentidos visuales, vestibulares y táctiles debe trabajar conjuntamente con el sistema neuromuscular para controlar la alineación corporal y promover la salida motora adecuada [6,14,15]. A medida que las personas envejecen, su equilibrio y estabilidad se ven perjudicados, debido a los cambios fisiológicos y cognitivos señalados anteriormente. Los investigadores siguen trabajando en la identificación de enfoques de control del equilibrio y la estabilidad para las personas con estos problemas [16].

Esencialmente, la postura y el equilibrio están controlados predominantemente por intrincados mecanismos que fluctúan entre módulos sensoriales y motores situados en la médula espinal, el tronco encefálico y el cerebelo [7]. (Recientemente, se ha demostrado que la corteza cerebral desempeña un papel crucial en la regulación de las vías neurales implicadas en el equilibrio y la postura, como las regiones corticales fronto-central y centro-parietal. Esto, posteriormente, contribuye a la optimización de los mecanismos de control del equilibrio a través de la 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 estímulos externos o intervenciones experimentales modulen esas redes de vías [11].

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

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

Los investigadores han demostrado que la interferencia entre las estimulaciones externas y las fluctuaciones del EEG están probablemente implicadas en 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 están coordinadas mecánica, sensorial y cognitivamente, en el mantenimiento del control estático y dinámico del equilibrio [7,11].

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

vías de administración invasivas, como parches no farmacológicos, ortesis, muñequeras y manguitos de compresión [19].

Dhaliwal et al. (2022) examinaron específicamente los mecanismos neurales asociados a los efectos de la estimulación del pie en los patrones del EEG mediante la evaluación de la VTT y cómo ésta puede impactar e influir en la neuromatriz. Dado que estos patrones están estrechamente relacionados con el control del equilibrio humano, existen pruebas convincentes que indican que la manipulación de los circuitos neurales puede afectar a las oscilaciones de las formas de onda del EEG y, posteriormente, al control del equilibrio dependiente del motor [11]. Además, se ha teorizado que cuando se aplica un patrón de estimulación somatosensorial a la región metatarsal del pie mediante la incorporación de tecnología de activación vibrotáctil háptica, puede producirse una mejora del equilibrio y de la coordinación del movimiento debido a la influencia que esta estimulación tiene en los sistemas sensorial, cognitivo y musculoesquelético [11]. Como consecuencia, el patrón somatosensorial de estimulación (de activación vibrotáctil háptica) se tejió e incorporó en calcetines y se llevó en los pies para facilitar los efectos de la estimulación somatosensorial de la región metatarsal de la planta de los pies en el sistema nervioso periférico y central. El propósito de este estudio de riesgo mínimo era explorar los efectos de los calcetines mejorados con tecnología de activación vibrotáctil háptica y su efecto sobre el equilibrio y la estabilidad con aquellos pacientes que llevaban calcetines de tela normales a los que no se había incorporado la tecnología.

Métodos

Diseño del estudio

Este estudio era un ensayo aprobado por la Junta de Revisión Institucional cuyo objetivo era 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 llevaban calcetines de tela normales que no llevaban incorporada la tecnología. (Véanse las Fotos 1 y 2) La estimación a priori del tamaño de la muestra 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 tras dar su consentimiento. Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

(a) ningún dolor actual que limite el movimiento, y (b) ninguna afección del pie o la rodilla que limite la capacidad de llevar los calcetines, realizando una Evaluación de Equilibrio Médico Sway con calcetines normales y, a continuación, sustituyendo el sujeto los calcetines normales por los calcetines mejorados VTT y completando de nuevo la Evaluación de Equilibrio Médico Sway.

Los sujetos inscritos recibieron 2 pares de calcetines (calcetines mejorados VTT y calcetines normales) y se les indicó que eligieran primero un par de cualquiera de los dos tipos de calcetines. No se les indicó que eligieran uno u otro para la primera evaluación. Después de colocarse un par en los pies, los sujetos realizaron la Evaluación Médica del Equilibrio Sway. Esta evaluación dura aproximadamente 15 minutos. Una vez finalizada la primera evaluación, los sujetos tuvieron un intervalo de 5-10 minutos en el que descansaron, se quitaron el primer par de calcetines y colocaron el segundo par de calcetines en los pies. A continuación, se volvió a realizar la Evaluación Médica del Equilibrio Sway. Se recogieron y registraron datos durante cada una de estas evaluaciones.

Sway Balance System es una balanza móvil autorizada por la FDA. sistema de pruebas que mide y puntúa el equilibrio de una persona

y la estabilidad, y puede utilizarse para detectar signos de disfunción relacionada con el equilibrio [20].

El Sway Medical Balance System 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, siendo 100 completamente estable y 0 inestable.

La puntuación global se compone de la media estadística de todas las puntuaciones de pruebas anteriores y sirve como referencia o control que compararse con la última puntuación para detectar cambios.

Una puntuación global de Sway Medical Balance de entre 80 y 85 se sitúa en el percentil 50. Las puntuaciones globales entre <80 se sitúan en el percentil 25 y las puntuaciones globales entre >85 y 95 se sitúan en el percentil 75.

Se realizó una prueba ANOVA F de una vía para comparar e identificar el cambio en las medias de los calcetines mejorados VTT y los calcetines normales Puntuaciones globales: (ANOVAN, Matlab, MathWorks, Inc.), con comparaciones HSD post-hoc de Tukey para identificar diferencias entre los 2 tipos de calcetines (calcetines mejorados Superneuro VTT y calcetines normales) y entre los lados (MULTCOMPARE, Matlab, MathWorks, Inc.). Se utilizó un nivel de significación a priori de =0,05 para todas las pruebas.

Se calcularon pruebas t pareadas entre los calcetines normales/estándar y los calcetines Superneuro VTT mejorados 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 plena conformidad con las normas de la Ley de Portabilidad y Responsabilidad de los Seguros Sanitarios 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 háptica de activación vibrotáctil (VTT)



Foto 1: El calcetín mejorado Superneuro VTT.



Foto 2: El calcetín mejorado Superneuro VTT.

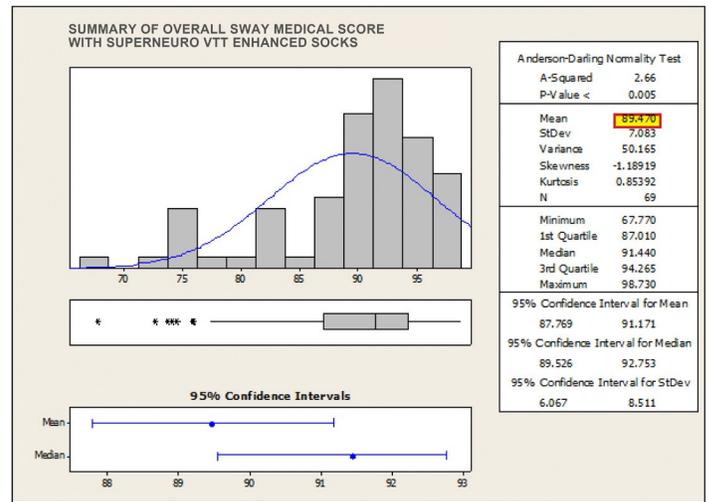


Figura 2

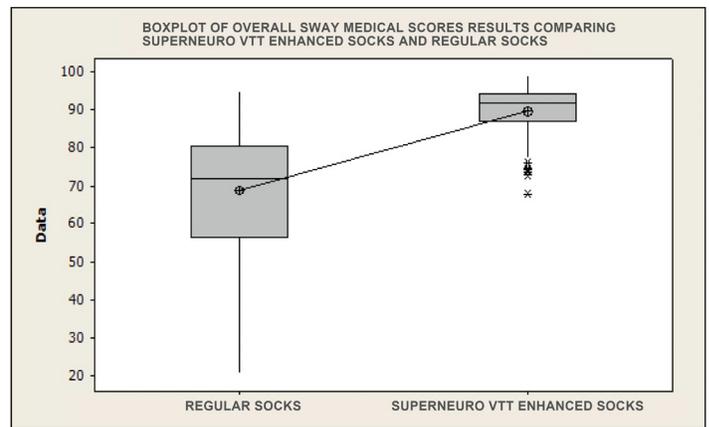


Figura 3

Los calcetines mejorados VTT parecen influir en el equilibrio neuromuscular y el control de la estabilidad durante la prueba de equilibrio Sway Medical aumentando la puntuación global en relación con los calcetines normales (RS). La diferencia media en la puntuación de la Evaluación de Equilibrio Sway Medical entre los calcetines normales y los calcetines mejorados VTT fue del 31%, siendo el aumento significativamente mayor con el tipo de calcetín mejorado, lo que resulta en un mayor nivel de equilibrio y estabilidad para los que llevan los calcetines mejorados VTT.

También se observó que el tipo de calcetín mostraba una diferencia significativa en la distribución de la puntuación total de la evaluación médica del balanceo. Mientras que la condición de calcetines normales (RS) sólo produjo un conjunto de datos de sujetos que registraron un 16,72% con una puntuación de evaluación de equilibrio médico general de balanceo superior al 85%. Los calcetines mejorados con VTT, por otro lado, mostraron una distribución mucho mayor la Puntuación de Evaluación de Equilibrio Médico Sway, con un 73,6% de sujetos con una puntuación superior al 85% (ver Figuras 4 y 5).

Seguridad

Los pacientes no notificaron reacciones cutáneas adversas ni acontecimientos adversos graves mientras llevaban puestos los calcetines con tecnología de activación vibrotáctil háptica o los calcetines normales.

Procedimientos y evaluaciones del estudio

Análisis estadístico

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

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

Resultados

Los resultados mostraron una diferencia clara y estadísticamente significativa en las puntuaciones de la Evaluación de Equilibrio de Sway Medical entre los sujetos que llevaban calcetines normales y los calcetines mejorados VTT. El análisis de los datos mostró que la puntuación global de la Evaluación del Equilibrio de Sway Medical fue significativamente mayor para los calcetines mejorados con 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).

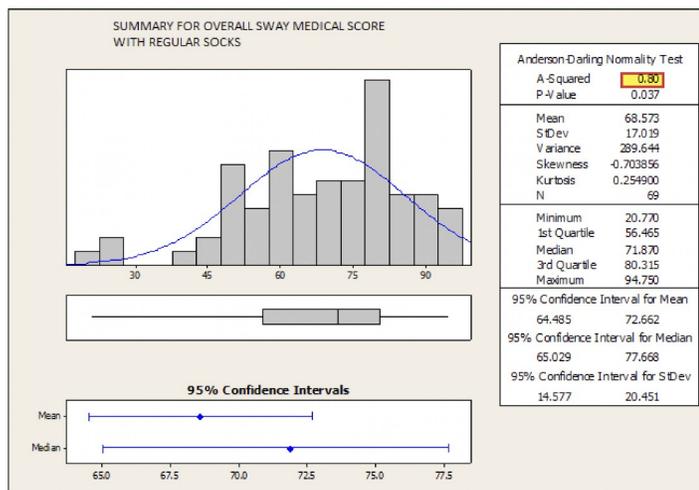
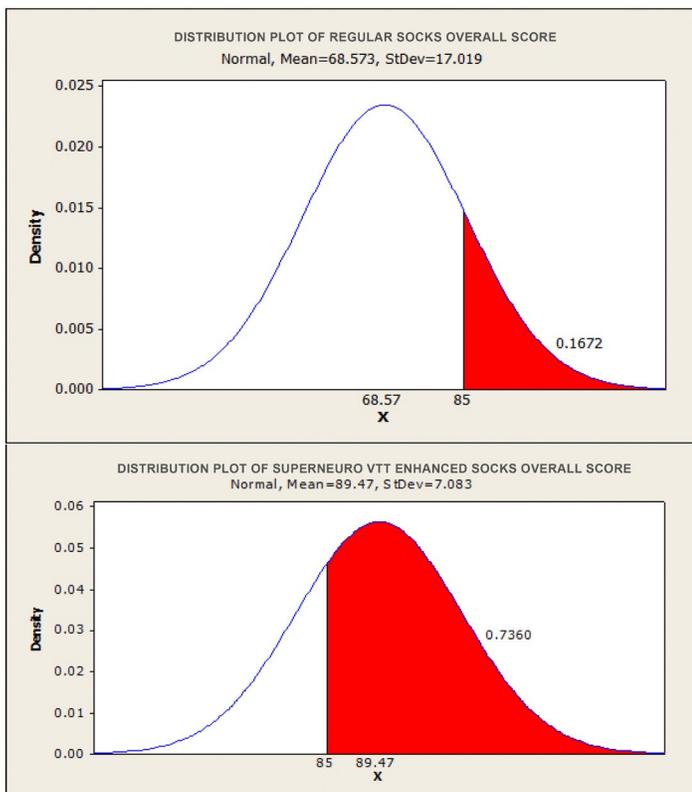


Figura 1



Debate

Cada vez hay más pruebas de que las terapias innovadoras basadas en la tecnología, como la tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT), favorecen la mejora de los mecanismos de activación cerebral en las "tareas de control del equilibrio", independientemente de las incidencias sensoriales, cognitivas o mecánicas [21,22]. Los resultados de este estudio muestran que la tecnología VTT aumenta el equilibrio y la estabilidad entre los sujetos que llevan calcetines mejorados con VTT en comparación con los que no llevan los calcetines con la tecnología incorporada. Estas "tareas de control del equilibrio" son de naturaleza dual, dado que se trata de perturbaciones tanto sensoriales (visuales, somatosensoriales y vestibulares) como mecánicas (traslaciones de la superficie de apoyo) que eluden correlativamente las respuestas motoras derivadas de los déficits de equilibrio. Otro descubrimiento clave identificó redes neuronales en la línea media del córtex de asociación somatosensorial posterior (SAC), situado dentro del córtex parietal que está vinculado con el córtex premotor. La 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, corroborando la hipótesis de que los centros cognitivos superiores participan en el control del equilibrio [2,3,7,23]. La tecnología de mapeo desarrollada por Srysty Holdings (Toronto, Canadá) e incorporada a los calcetines mejorados de VTT ha revelado la influencia en los patrones de las neurovías, que son fundamentales para identificar los retos y las limitaciones de los enfoques actuales en tratamiento de las afecciones relacionadas con la postura, el equilibrio y la movilidad.

Otras investigaciones de las redes corticales han demostrado la implicación 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 en el mantenimiento del control y la estabilidad del equilibrio. La estimulación háptica vibrotáctil de activación se correlaciona con este razonamiento, dada la observación de que se produjo una inhibición estadísticamente significativa de la coherencia del EEG, lo que indica una mayor complejidad de la red neuronal y una posible capacidad cognitiva en los participantes [11]. Se ha demostrado que esta tecnología influye en las áreas del cerebro relacionadas con el equilibrio y la movilidad, la energía y el dolor, modulando distintas vías neuronales.

Se teoriza que la tecnología VTT facilita el procesamiento de la 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, en la que presumiblemente participan vías ventrales y dorsales, promueve el procesamiento visual necesario para mantener una estabilidad óptima [21,28].

Anatomía de las formas de onda EEG en los paradigmas de control del equilibrio estático y dinámico - Resolución del enigma EEG de las redes neuronales

La secuencia de redes EEG puede considerarse un conjunto de módulos que comprenden redes temporales y espaciales que abarcan regiones corticales frontales, centrales y parietales. La comprensión de las redes estáticas y paradigmas de control dinámico a través de módulos mecánicos, cognitivos y sensoriales, es fundamental para determinar la dinamicidad 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 somatosensorial en el control del equilibrio humano. Para verificar las consecuencias de la activación somatosensorial en el control del equilibrio humano, se tejió un patrón parecido a la activación somatosensorial que se incorporó a unos calcetines (calcetines mejorados con VTT) y se llevó en los pies para facilitar mejor los efectos de la estimulación somatosensorial de la región metatarsal de la planta de los pies en los sistemas PNS y CNS, corroborando observaciones anteriores [7,23,29].

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

El componente somatosensorial de las medias mejoradas con VTT reveló patrones coherentes con la teoría de la sensación háptica y la percepción táctica [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

de la percepción háptica suele denominarse percepción táctil, y se refiere a las sensaciones que se obtienen al tocar objetos del mundo exterior. Los mecanorreceptores y termorreceptores de la piel (por ejemplo, las entradas cutáneas) 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 (por ejemplo, las entradas propioceptivas y cinestésicas). Nuestra comprensión de las bases neurales 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), teniendo así un beneficio potencial para aplicar el concepto de sensación háptica/táctil al desarrollo neuronal, plasticidad y circuitos implicados con el control del equilibrio humano, y quizás también otros mecanismos [30,31].

Investigaciones anteriores han apoyado que la frecuencia de la banda alfa del EEG disminuye a medida que aumenta la dificultad de equilibrio en las áreas central y parietal [28,32]. La literatura reciente revisada por pares [11] demostró que los calcetines potenciados con VTT provocaban oscilaciones en la frecuencia alfa de forma análoga.

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

En comparación con los calcetines no mejorados con VTT, este estudio muestra que los calcetines mejorados con VTT crean una respuesta que es indicativa de una mejora del equilibrio y la 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 está conectada con el módulo somatosensorial del cerebro y, por lo tanto, es probable que participe en la mediación de los mecanismos de control de la postura y el equilibrio en condiciones cuidadosamente controladas, en consonancia con observaciones anteriores respaldadas científicamente [7,13].

Se anima a seguir investigando sobre la tecnología de activación vibrotáctil háptica (VTT) para confirmar estos resultados. Si los datos sobre esta tecnología siguen mostrando resultados positivos en el equilibrio y la estabilidad, el control del dolor, la energía u otras áreas de estudio, entonces esta tecnología mejorada VTT puede tener el potencial de tener un gran impacto en las actividades de la vida diaria (ADL), los componentes de calidad de vida (QoL), y la funcionalidad general y el bienestar entre la población.

Los resultados de este estudio mostraron una diferencia significativa en las puntuaciones de evaluación del equilibrio de Sway Medical de los sujetos que llevaban calcetines mejorados Superneuro VTT en comparación con los sujetos que llevaban calcetines normales sin la tecnología incorporada. Al igual que en otras investigaciones publicadas, los

En la actualidad se desconocen los mecanismos exactos de acción de los calcetines mejorados con tecnología de activación vibrotáctil háptica sobre el sistema somatosensorial. Es necesario identificar opciones y enfoques de tratamiento alternativos, como la VTT, que tengan efectos adversos mínimos, riesgos reducidos y que carezcan de limitaciones para quienes puedan utilizar la tecnología, en comparación con los enfoques de tratamiento convencionales (por ejemplo, regímenes de entrenamiento físico que incorporen ejercicio aeróbico/aneróbico), con el fin de ofrecer mejores opciones a los médicos y a las personas con funcionalidad reducida y que tengan problemas de equilibrio y estabilidad. Una mejor comprensión de la neuromatriz y la identificación e incorporación de nuevos tratamientos no farmacológicos añadirán importantes opciones seguras y eficaces al arsenal de los médicos para mejorar la atención a los pacientes.

Conclusión

Este estudio demostró una mejora en las puntuaciones globales de equilibrio y estabilidad en sujetos que llevaban calcetines mejorados Superneuro VTT en comparación con los calcetines normales (RS). Los calcetines VTT mejorados parecen influir en el control neuromuscular del equilibrio y la estabilidad. La incorporación de la tecnología de activación vibrotáctil háptica en prendas de vestir 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 a los tratamientos convencionales. Los resultados respaldan la realización de nuevas investigaciones sobre el uso de esta tecnología háptica de activación vibrotáctil (VTT) para confirmar el impacto en el equilibrio y la estabilidad, las actividades de la vida diaria (ADL) y los componentes de la calidad de vida (QoL).

Agradecimientos

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 remuneración por la interpretación del estudio. Baldeep Dhaliwal, MD no recibió remuneración. Manny S Dhaliwal no recibió remuneración. Peter L Hurwitz recibió remuneración 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. *Cogn Process*. 2012; 13: 285-301.
2. Reed CL, Ziat M. Percepción háptica: De la piel al cerebro. En *Módulo de referencia en neurociencia y psicología bioconductual*. 2018.
3. Büchel D, Lehmann T, Ullrich S, et al. Stance leg and surface stability modulate cortical activity during human single leg stance. *Exp Brain Res*. 2021; 239: 1193-1202.
4. Rubenstein LZ. Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing*. 2006; 35, 37-41.
5. Kojima G. Fragilidad como predictor de futuras caídas entre las personas mayores que viven en la comunidad: una revisión sistemática y meta-análisis. *J Am Med Dir Assoc*. 2015; 16: 1027-1033.

6. Horak FB. Orientación postural y equilibrio: ¿qué necesitamos saber sobre el control neural del equilibrio para prevenir las caídas? *Age Ageing*. 2006; 35: 7-11.
7. Mierau A, Pester B, Hülzdünker T, et al. Correlatos corticales del control del equilibrio humano. *Brain Topogr*. 2017; 30: 434-446.
8. de Vries NM, van Ravensberg CD, Hobbelen JS, et al. Effects of physical exercise therapy on mobility, physical functioning, physical activity and quality of life in community-dwelling older adults with impaired mobility, physical disability and/or multimorbidity: a meta-analysis. *Ageing 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, et al. Effectiveness of coordination exercise in improving cognitive function in older adults: a prospective study. *Clin Interv Aging*. 2011; 6: 261-267.
11. Dhaliwal BS, Haddad J, Debrincat M, et al. Changes in Electroencephalogram (EEG) After Foot Stimulation with Embedded Haptic Vibrotactile Trigger Technology: Neuromatrix and Pain Modulation Considerations. *Anesth Pain Res*. 2022; 6(2): 1-11.
12. Dunskey A. The Effect of Balance and Coordination Exercises on Quality of Life in Older Adults: A Mini-Review. *Front Aging Neurosci*. 2019; 11: 318.
13. Rubega M, Formaggio E, Di Marco R, et al. Cortical correlates in upright dynamic and static balance in the elderly. *Sci Rep*. 2021; 11: 14132.
14. Hayes KC. Biomecánica del control postural. *Exerc Sport Sci Rev*. 1982; 10: 363-391.
15. Dunskey A, Zeev A, Netz Y. El rendimiento del equilibrio es específico de la tarea en adultos mayores. *Biomed Res Int*. 2017; 2017: 6987017.
16. Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S. El ejercicio de los mecanismos para el control dinámico de la estabilidad aumenta el rendimiento de la estabilidad en los ancianos. *J Biomech*. 2011; 44: 52-58.
17. Thatcher RW. Electroencefalografía tomográfica, magnetoencefalografía. Dinámica de la conmutación de redes neuronales humanas. *J Neuroimaging*. 1995; 5: 35-45.
18. Slobounov S, Hallett M, Stanhope S, et al. Papel de la corteza cerebral en el control postural humano: An EEG study. *Clin Neurophysiol*. 2005; 116: 315-323.
19. Strydom Holding Co. Voxx Life Inc. Toronto, Canadá.
20. Mummareddy N, Brett BL, Yengo-Kahn AM, et al. Aplicación móvil Sway Balance: Reliability, Acclimation, and Baseline Administration. *Clin J Sport Med*. 2020; 30: 451-457.
21. Slobounov S, Cao C, Jaiswal N, et al. Neural basis of postural instability identified by VTC and EEG. *Exp Brain Res*. 2009; 199: 1-16.
22. Solis Escalante T, van der Crujisen J, de Kam D, et al. Dinámica cortical durante la preparación y ejecución de respuestas reactivas de equilibrio con distintas demandas posturales. *Neuroimage*. 2019; 188: 557-571.
23. Gebel A, Lehmann T, Granacher U. Balance task difficulty affects postural sway and cortical activity in healthy adolescents. *Exp Brain Res*. 2020; 238: 1323-1333.
24. Thatcher RW, Biver CJ, North D. Spatial-temporal current source correlations and cortical connectivity. *Clin EEG Neurosci*. 2007; 38: 35-48.
25. Varghese JP, Beyer KB, Williams L, et al. Quedarse quieto: ¿hay un papel para la corteza? *Neurosci Lett*. 2015; 590: 18-23.
26. Thatcher RW, Krause PJ, Hrybyk M. Cortico-cortical associations and EEG coherence: a two-compartmental model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1986; 64: 123-143.
27. Varghese JP, Staines WR, McIlroy WE. Activity in functional cortical networks temporally associated with postural instability. *Neuroscience*. 2019; 401: 43-58.
28. Hülzdünker T, Mierau A, Strüder HK. Higher balance task demands are associated with an increase in individual alpha peak frequency. *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. *Brain*. 1999; 122: 329-338.
30. Tien NW, Kerschensteiner D. Plasticidad homeostática en el desarrollo neuronal. *Neural Dev*. 2018; 13: 9.
31. Yin J, Yuan Q. Homeostasis estructural en el sistema nervioso: A balancing act for wiring plasticity and stability. *Front Cell Neurosci*. 2015; 8: 439.
32. Edwards AE, Guven O, Furman MD, et al. Correlatos electroencefalográficos de tareas posturales continuas de dificultad creciente. *Neuroscience*. 2018; 395: 35-48.