
LA APLICACIÓN DE VIBRACIONES EN EL CUERPO HUMANO

Información científica

ÍNDICE

Introducción	4
1. Qué es la vibración	5
2. Neurofisiología de la percepción vibratoria: receptores en el cuerpo humano	7
3. Clasificación de las vibraciones	9
3.1. Diferencia entre vibración y electroestimulación	9
4. La vibración mecánica como forma de estimulación propioceptiva	10
5. Evolución en los estudios de vibraciones mecánicas aplicadas al cuerpo humano	13
5.1. FV: La ruta científica	15
5.1.1. La vibración mecánica focal (FV) y receptores nervios musculotendinoso	16
5.2. MFV: Estructura diseñada para crear efectos positivos inducidos por vibraciones múltiples mecánica focal	18
6. Un nuevo protocolo para aplicar vibraciones al cuerpo : la vibración muscular repetitiva (rMV)	19
6.1. El primer estudio en sujetos sanos sobre el potencial de la rMV: Acción de rMV en el control de la rigidez articular	20
6.2. Correlatos neurofisiológicos	21



7	efectos positivos de las vibraciones en el cuerpo humano	24
	Efectos	
	s	
7.1	Efectos sobre el sistema hormonal	25
7.2	Efectos en el sistema musculoesquelético	26
7.3	Efectos en el tejido óseo	27
7.4	Efectos en las personas mayores	30
7.5	Efectos sobre la obesidad y la osteoporosis	32
7.6	Efectos en la terapia del dolor	32
7.7	Efectos en la circulación sanguínea	33
8	Investigación y aplicación de vibración mecánica de parte del	35
	Universidades italianas: informe del Congreso del 13 de diciembre de 2008 aparecido en 'Paginemediche.it'- Unas simples vibraciones mecánicas repetidas aumentan la función cerebral y mejoran el control de los músculos de las articulaciones.	
	Bibliografía	38

INTRODUCCIÓN

Todo en el universo vibra. El ser humano también se ve afectado por esta realidad, que se manifiesta fuera y dentro de él. La vibración es una fuerza vital. En lo que respecta al ser humano, la vibración puede dividirse en dos áreas : vibración beneficiosa y vibración perjudicial.

En la infinita gama de vibraciones, la percepción del hombre se sitúa en una banda que va desde la Esterocepción, pasando por las frecuencias de la sensorialidad (los cinco sentidos), hasta la Propiocepción, pasando por las frecuencias de resonancia de sus propias células y órganos. Las tensiones de la vida y las vibraciones resultantes influyen de forma tangible en el estado de bienestar y salud. Las negativas son, por ejemplo, el estrés (introcepción) y el ruido (exocepción).

El valor de la terapia vibratoria se conoce desde la antigüedad. Se ha aplicado mediante sonidos, el golpeteo de objetos sobre el cuerpo y efectos visuales a través de los colores.

En la última década, la ciencia, a través de la investigación, ha conseguido dar a la vibración mecánica un rostro terapéutico con grandes resultados positivos para la salud humana. La vibración mecánica ha abierto la puerta a una verdadera terapia global sobre el ser humano.



Capítulo 1

QUÉ ES LA VIBRACIÓN

El término "vibración" describe un movimiento de tipo oscilatorio en torno a una posición de referencia a intervalos regulares.

El número de ciclos completos completados durante la unidad de tiempo, es decir, el segundo, se denomina frecuencia. La frecuencia se mide en hercios (Hz). El hercio define cuántas oscilaciones (vibraciones) se producen en un segundo. Lo que nos interesa son las vibraciones mecánicas.

El término "vibración mecánica" se refiere en particular a una oscilación mecánica en torno a un punto de equilibrio. También hay que dejar claro que términos introducidos recientemente, como **"energía vibratoria"**, **carecen de significado científico**.

La oscilación es el movimiento que realiza un punto móvil para alejarse y volver su posición inicial: de hecho, también se suele hablar de pequeños movimientos en torno a la equilibrio. El movimiento oscilatorio puede producirse de forma periódica o alterna.



Si se observa un objeto en movimiento vibratorio (figura anterior) se pueden observar movimientos periódicos; el tiempo transcurrido entre dos pasadas de un punto a la posición de referencia (equilibrio o posición inicial) se denomina periodo (o ciclo) [s].

La magnitud de las oscilaciones se denomina amplitud. El número de oscilaciones en la unidad de tiempo constituye la frecuencia.

Todos los días, el cuerpo humano está sometido, consciente e inconscientemente, a vibraciones de distintos tipos, desde las producidas por un coche o un tren hasta las generadas por un automóvil o un tren.

de máquinas o herramientas industriales como martillos neumáticos, taladros, etc.

Las vibraciones de baja, media y alta frecuencia pueden tener efectos positivos y negativos en el organismo. La exposición a las vibraciones puede tener graves repercusiones



sobre el cuerpo humano, en función del tipo de oscilación y de la duración de la exposición a la que se somete el cuerpo. **Son cruciales la amplitud de la superficie de contacto con el objeto vibrante, la frecuencia de la vibración, la amplitud (potencia de onda transmitida), el tiempo de exposición y la dirección de propagación de la vibración.**

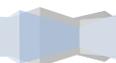
Los efectos negativos están relacionados con las ondas de energía transferidas desde la fuente vibratoria al cuerpo sometido a la exposición: éstas provocan diversos efectos en los tejidos y órganos antes de atenuarse.

El cuerpo humano, como cualquier otra máquina, sólo puede tolerar ciertos niveles de energía (ondas de choque) de vibración, más allá de los cuales empieza a deteriorarse y a sufrir daños a largo plazo.

El cuerpo humano no vibra como una masa única con una frecuencia natural, sino que los órganos y cada segmento individual del cuerpo humano tienen su propia frecuencia de resonancia. Esto provoca una amplificación o amortiguación de las vibraciones de entrada por parte de cada zona del cuerpo, en función de su propia frecuencia de resonancia.

propagación de sonidos y ruidos transmite energía en forma de ondas de presión en el aire: en el caso de las vibraciones, la energía aparece en forma de ondas que se propagan en una estructura sólida. Un cuerpo vibra cuando describe un movimiento oscilatorio en torno a una posición de equilibrio estático.

La exposición del sistema mano-brazo a las vibraciones, por ejemplo, está correlacionada con un mayor riesgo de lesiones vasculares, neurológicas y musculoesqueléticas del propio sistema mano-brazo (por ejemplo, martillo neumático).



Capítulo 2

NEUROFISIOLOGÍA DE LA PERCEPCIÓN VIBRATORIA: RECEPTORES EN EL CUERPO HUMANO

La percepción vibratoria es, de hecho, una sensibilidad de tipo mecánico y, por esta razón, implica estructuras receptoras sensibles al estímulo mecánico, los mecanorreceptores (Mountcastle y Rose, 1959 ¹). **Los mecanorreceptores son microestructuras con diversas funciones que reciben señales vibratorias de distintas partes del cuerpo.**

Desde un punto de vista anatómico-estructural, los mecanorreceptores están dotados tanto de fibras mielinizadas de distinto calibre como de fibras amielinizadas, y se encuentran en distintos **tipos de tejidos, como la piel, el tejido muscular, el periostio, las cápsulas articulares y los ligamentos**. Concretamente, **los mecanorreceptores musculares intervienen en los fenómenos de respuesta refleja resultantes del estiramiento de la unidad músculo-tendinosa.**

Estos tipos de mecanorreceptores constituyen estructuras altamente especializadas y se denominan "terminaciones anuloespirales" de los husos neuromusculares. Desde un punto de vista funcional, están conectados a fibras mielinizadas pertenecientes al grupo Ia de Lloyd; éstas muestran una alta velocidad de conducción de alrededor de 100 m/s^{-1} y responden selectivamente a estímulos de tipo vibracional con frecuencias de 90 a 150 Hz (Hagbarth, 1973 ²).

Además, **a nivel de la piel**, en los seres humanos pueden **identificarse** otros **cuatro tipos de mecanorreceptores** mediante técnicas microneurográficas, que pueden clasificarse en función de la adaptación y el tamaño del campo receptor (Johansson y Valbo, 1983 ³). Sin embargo, **no todos los cuatro tipos de receptores identificados resultan ser sensibles a la percepción vibratoria**, e incluso aquellos que sí resultan ser receptivos al estímulo vibratorio **muestran diferencias en la respuesta dictadas por la frecuencia del propio estímulo vibratorio** (Mountcastle et al., 1969 ⁴).

Mountcastle et al. (1969), tras estudios en animales, clasificaron las unidades receptoras responsables de la **recepción sensorial del estímulo temblor-vibración** en tres clases, que se distinguen entre sí por el tipo de terminación nerviosa, zona del campo de acción del receptor, las propiedades adaptativas y la sensibilidad dinámica.

Las tres clases de mecanorreceptores así identificadas son:

7



- **Los mecanorreceptores de adaptación rápida** son sensibles al movimiento. Se encuentran esencialmente en **la dermis** y corresponden a **los corpúsculos de Meissner**, también conocidos como FA-1 (Fast Adaptation-1).
- **Los mecanorreceptores de adaptación lenta, situados también en la dermis**, corresponden a los **discos de Merkel** o SA-1 (Slow Adaptation-1). Muestran receptividad tanto al movimiento como a la intensidad del estímulo mecánico al que están sometidos.
- **Los corpúsculos de Pacini** o FA-2 (Fast Adaptation-2), situados **en el tejido subcutáneo**.

Los estudios realizados por Cosh ⁵ (1953), sobre el umbral perceptivo vibratorio, antes y después de la anestesia cutánea, demostraron que el umbral receptor de la sensibilidad vibratoria se sitúa **nivel subcutáneo**. Por esta razón, **los corpúsculos de Pacini** pueden considerarse a todos los efectos **como los mecanorreceptores más implicados en la percepción vibratoria**. Para confirmar esta hipótesis, cabe destacar que en el individuo anciano se produce una elevación del umbral de percepción vibratoria concomitante con una pérdida de los corpúsculos de Pacini (Cauna y Mannan, 1958 ⁶).

En cuanto a los mecanorreceptores situados **a nivel de la dermis**, los que desempeñan **el papel más relevante en la percepción vibratoria son los corpúsculos de Meissner**, que, sin embargo, muestran un tipo de activación selectiva para estímulos **vibratorios de baja frecuencia**, entre **5 y 40 Hz** (La Motte y Mountcastle, 1975 ⁷). A este respecto, hay que recordar que **la sensación psicofísica a nivel liminar percibe las vibraciones de baja frecuencia, en torno a un valor de 40 Hz, como una sensación de temblor**, denominada también "**aleteo**" (Talbot et al., 1969 ⁸). **Por el contrario, para las vibraciones de mayor frecuencia**, del orden de unos **100 Hz**, se percibe **una verdadera sensación de vibración**. Por esta razón, es razonable atribuir la percepción del efecto de **aleteo** a los corpúsculos de Meissner, cuya recepción óptima se sitúa en el rango entre 5 y 40 Hz, mientras que la percepción del estímulo vibratorio se atribuiría esencialmente a los corpúsculos de Pacini, que muestran una frecuencia vibratoria óptima en torno a 100 Hz, aunque, en verdad, su rango receptivo se extiende de 90 a 600 Hz (Loewenstein y Skalak, 1966 ⁹).



Capítulo 3 CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES

Las vibraciones pueden clasificarse en función de varios parámetros.

Además de la frecuencia, las vibraciones también se caracterizan por otros parámetros, aunque menos decisivos, estrechamente relacionados, como la amplitud, la velocidad y la aceleración.

La aceleración es un parámetro importante para evaluar la respuesta del cuerpo a las vibraciones, ya que el ser humano siente más la variación de un estímulo que su persistencia.

Para conseguir el máximo efecto beneficioso, hay que tener en cuenta la duración de la exposición, la zona en la que se administra la vibración, la frecuencia de resonancia emitida, el factor ergonómico (la posición postural), el estado psicológico y los factores ambientales.

Por tanto, hay que tener en cuenta el punto de aplicación de la vibración. Por esta razón, las vibraciones pueden distinguirse en:

- vibraciones transmitidas desde una única fuente a todo el cuerpo;
- vibraciones con múltiples fuentes y que implican a todo el cuerpo.

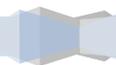
3.1 DIFERENCIA ENTRE ELECTROESTIMULACIÓN Y VIBRACIÓN

La electroestimulación parece ser fructífera en el post-traumático, post-operatorio o como masaje para reactivar la función inicial o para el uso de corrientes analgésicas como TENS.

No estamos hablando de ventajas relacionadas con el rendimiento y la función biomecánica adecuada.

A diferencia de la vibración, la respuesta muscular de la estimulación eléctrica es circunscrita. Además, no implica la estimulación de los sistemas propioceptivos de músculos, tendones y articulaciones ya que la estimulación eléctrica no ejerce efectos sobre los mecanorreceptores de Pacini y Meissner como la estimulación mecánica.

Mientras que la vibración mecánica activa todo el sistema muscular a través de 9 sistema propioceptivo, el electroestimulador sólo obtiene la contracción de los músculos agonistas, lo que se traduce en una falta de estimulación del sistema propioceptivo en detrimento de las importantes funciones de coordinación intermuscular.



Capítulo 4

LA VIBRACIÓN MECÁNICA COMO FORMA DE ESTIMULACIÓN PROPIOCEPTIVA

El fisiólogo ruso Pavlov demostró en 1927 que la asociación adecuada de dos estímulos apropiados podía modificar ciertas funciones motoras y/o comportamentales en el gato (paradigmas de condicionamiento neuronal asociativo, por asociación temporal de dos estímulos). Posteriormente, este fenómeno se definió a nivel celular y se llegó a hablar de **Potenciación a Largo Plazo (LTP), es decir, una potenciación a largo plazo (meses) de redes nerviosas seleccionadas.**

Cada año, varios centenares de publicaciones científicas muestran una multiplicidad de métodos para inducir fenómenos de LTP en las redes neuronales. **Los efectos del condicionamiento asociativo se caracterizan por una persistencia de semanas o meses frente a minutos u horas de condicionamiento,** una gran magnitud de los efectos y mecanismos totalmente fisiológicos, ya que estos procedimientos sólo pueden activar mecanismos fisiológicos. Teniendo en cuenta estos trabajos, parecía posible inducir una **forma de LTP en la red propioceptiva, mejorando así rápidamente el rendimiento muscular a largo plazo, mediante un procedimiento muy sencillo y totalmente no invasivo.**

En los últimos 10 años, **varios** grupos de investigación, pertenecientes a **diferentes institutos universitarios** (*Departamento de Ciencias del Aparato Locomotor y Escuela de Medicina del Deporte Universidad de Roma "La Sapienza", Cátedra de Medicina Física y Rehabilitación. Departamento de Medicina Interna, Sección de Fisiología Humana y Departamento de Especialidades Médicas y Quirúrgicas, Sección de Ortopedia, Universidad de Perugia, Instituto de Fisiología Humana, Universidad Católica de Roma, Departamento de Ciencia y Sociedad, Facultad de Ciencias Motoras, Universidad de Cassino*) han tratado de identificar un estímulo mecánico vibratorio capaz, en primer lugar, de no causar ningún daño y, en segundo lugar, de tener efectos terapéuticos **al actuar sobre la red de control propioceptiva.**

Esto condujo al desarrollo de la investigación sobre el uso de secuencias de microestímulos mecánicos, percibidos como vibraciones por el , pero que en realidad **constituyen un verdadero código que puede ser leído por el Sistema Nervioso Central y capaz de mejorar notablemente funciones motoras seleccionadas.** Se ha comprobado que este procedimiento muy sencillo y totalmente no invasivo **induce una forma de LTP en la red propioceptiva, mejorando rápidamente y el rendimiento muscular a largo plazo.**

Trabajos muy recientes convergen en dos aspectos: para tener efectos persistentes, la vibración mecánica debe durar un tiempo adecuado (10-15 minutos). En cuanto al aumento



del tono muscular de los músculos de gravedad, la vibración mecánica debe tener una frecuencia¹⁰ a la que el sistema del circuito propioceptivo se muestre especialmente sensible (90-120 hz), y debe administrarse a músculos relajados. Por otra parte, para el fortalecimiento músculos esqueléticos, además de la señal producida por la estimulación mecánica vibratoria, es necesaria la participación del paciente mediante la contractura de los músculos diana. Así pues, el estímulo mecánico se asocia a la contracción voluntaria simultánea del músculo estimulado: de este modo, a la red de control muscular dos estímulos simultáneos, uno inducido por el paciente y el segundo proporcionado por la .

La aplicación ideal se desarrolla en 3 tratamientos de 10 minutos al día durante 3 días consecutivos. Cada sesión debe estar separada por 3 a 10 minutos de relajación muscular y suspensión del estímulo vibratorio (el ciclo de 3 sesiones puede realizarse en un tiempo 45 minutos al día durante 3 días consecutivos). Los resultados de esta investigación se han presentado en conferencias¹¹.

Los efectos unilaterales en sujetos sanos y la rapidez de los efectos (24 horas) en pacientes ortopédicos sugieren una acción directa del tratamiento sobre el sistema nervioso central. Además, la recuperación de la estabilidad sobre una pierna con los ojos cerrados en pacientes con reconstrucción del LCA (ligamento cruzado anterior) permite deducir que **el tratamiento realizado modificó el análisis de la información propioceptiva. La persistencia de los efectos sugiere finalmente la inducción real de cambios plásticos en el circuito propioceptivo.** No se observó ningún efecto secundario.

Se trata de una vía completamente nueva que pretende "reprogramar" (casi una especie de "up grade" informático) **las redes nerviosas de control muscular.** Esta nueva frontera del entrenamiento (deportivo, pero también de rehabilitación) se basa en un principio fundamental: **el rendimiento muscular no se debe a la masa muscular disponible, sino a cómo se gestiona.**

Un ejemplo macroscópico lo ofrecen los velocistas: Mennea y sus contemporáneos tenían masas musculares más de un 50% inferiores a las de los velocistas actuales, pero sus tiempos eran muy difíciles de batir. Eran máquinas musculares mucho más eficaces que las actuales. La neurofisiología conoce desde hace mucho tiempo la razón: sus sistemas nerviosos eran capaces de gestionar sus músculos de forma óptima, su entrenamiento estaba orientado a la fluidez del rendimiento para lograr la máxima eficacia.

Hoy en día, desgraciadamente ayudados por la química, se busca más potencia para la masa contráctil,

11

pero la actuación es cada vez menos eficaz.



Por tanto, como la eficacia depende mucho más del control de la masa muscular que de su volumen, es esencial aumentar esta función. Existen técnicas, basadas en el tratamiento de secuencias de señales mecánicas de vibración, destinadas a conseguir formas de Potenciación a Largo Plazo (LTP) sobre funciones nerviosas específicas. Gracias a estas técnicas, es posible actuar directamente sobre el control neuromuscular con efectos extraordinariamente potentes (aumentos de varias decenas de puntos porcentuales), rápidos (con aplicaciones de pocos minutos repetidas en periodos cortos) y persistentes (semanas o meses).

Sorprendentemente, este nuevo sistema no sólo produce efectos bastante impresionantes en cuanto a tamaño, sino que además adopta la forma de un método que es la antítesis del dopaje. Este último, en efecto, empuja al sujeto más allá de sus posibilidades y le lleva a gastar mucha más energía el organismo está dispuesto a gastar. Potenciar el control motor, por el contrario, significa optimizar el gesto atlético, permitiendo un ahorro de energía en cada movimiento, y permitiendo así un mayor número de movimientos con el mismo gasto energético.

La mejora del control permite concentrarse y expresar la fuerza explosiva sin aumentarla: el rendimiento aumenta gracias a una mejor gestión muscular.



Capítulo 5

EVOLUCIÓN EN EL ESTUDIO DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS APLICADAS AL CUERPO HUMANO

Cíclicamente, el interés por las posibles aplicaciones terapéuticas o deportivas de las vibraciones mecánicas vuelve a despertar en el mundo científico, y esta investigación, a lo largo de los años, ha dado lugar a una impresionante bibliografía.

Los primeros trabajos científicos sobre el uso de vibraciones con fines terapéuticos en seres humanos (el llamado ejercicio vibratorio terapéutico) **se remontan a 1949**, cuando **Whedon et al.** informaron de los **efectos positivos** de la aplicación de vibraciones generadas por una cama oscilante especial sobre las anomalías metabólicas de pacientes encamados y .

Un estudio experimental posterior (Hettinger, **1956**) demostró que la administración de **vibraciones con una frecuencia de 50 Hz y una aceleración de 10 g era capaz de aumentar el área seccional muscular, así como de disminuir el tejido adiposo dentro del propio músculo.**

En el campo puramente terapéutico, casi cuarenta años después, Schiessl (1997); patentó el uso de una máquina capaz de generar oscilaciones de tipo rotacional, al mismo tiempo que Fritton et al. (1997) desarrollaron una máquina basada en oscilaciones de tipo traslacional (técnica posteriormente abandonada por sus pobres resultados). En ambos casos, el campo de aplicación de estos dispositivos era intentar obtener **una estimulación del crecimiento óseo, gracias a frecuencias específicas que podríamos definir como "osteogénicas".**

Un año más tarde, los trabajos experimentales de **Flieger et al. (1998)** demostraron que **en los animales sometidos a vibraciones se producía un aumento de la proliferación ósea.**

Desde 1994 hasta la actualidad, el Prof. C. Rubin ha centrado sus estudios en la comprensión de los mecanismos celulares responsables del crecimiento, la **curación y la homeostasis del hueso** y, en particular, en el análisis de cómo los estímulos biofísicos (mecánicos y de otro tipo) median en estas ^{respuestas}¹² . Los resultados de sus trabajos muestran cómo estos estímulos inducen **la inhibición de la osteopenia**, el fomento del recrecimiento óseo dentro de prótesis o defectos esqueléticos, e incluso la **curación más rápida de fracturas.**

Sin embargo, hasta 1987, todos los estudios referidos a las vibraciones mecánicas se dirigían a  efectos sobre el sistema esquelético, de ahí el tratamiento de la osteoporosis, la recuperación de traumatismos,

descalcificación ósea, degeneración ósea y disminución de la calcificación en astronautas. Hasta finales de los años ochenta no aparecieron los primeros estudios sobre la posibilidad de **aumentar las capacidades contráctiles de los músculos sometidos a esfuerzos vibratorios** (Nazarov y Spivak, 1987). Desde entonces, la investigación en este campo específico ha sido cada vez más exhaustiva, y los beneficios de las vibraciones controladas empezaron a analizarse también desde el punto de vista muscular.

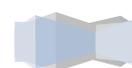
Los rusos Nazarov y Spirav trabajaban para el gobierno ruso y sus estudios sobre las vibraciones se utilizaron para apoyar las actividades gimnásticas de los astronautas en el espacio. A principios de la década de 1990, los estadounidenses consiguieron permanecer en el espacio no más de 120 días y siempre con graves problemas musculares y óseos, mientras que los astronautas rusos lograron batir récord tras récord estacionando a dos astronautas en el espacio en la estación orbital MIR durante 450 días.

Desde entonces, la investigación en este campo específico se ha vuelto más detallada, gracias sobre todo a los estudios realizados por **el Prof. Carmelo Bosco, uno de los mayores exponentes del estudio de la respuesta del cuerpo humano a las vibraciones mecánicas**. Ideó un método de entrenamiento (AV - Vibratory Training) capaz de mejorar la potencia, la resistencia y la velocidad del sujeto examinado realización de sencillos ejercicios sobre una plataforma vibratoria a determinadas frecuencias, permitiendo también tratar a ancianos y lesionados, sin tener que recurrir a desagradables terapias de reeducación ¹³.

En 2007, un artículo coordinado por la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Lyon (Francia) y la Escuela Interfacultativa de Ciencias del Deporte de Turín apareció en la revista "New athletic Research in Science Sport" (Bisciotti, 2007). ¹⁴ En el artículo se afirma:

"Los efectos de la administración controlada de vibraciones sobre el cuerpo humano se conocen desde 1949, fecha del primer trabajo científico en este campo específico. Sin embargo, no fue hasta cuarenta años más tarde cuando se reconoció científicamente el valor terapéutico de las vibraciones en lo que respecta a su efecto osteogénico, lo que justifica su aplicación en medicina geriátrica en sentido general y en determinadas patologías específicas como la osteoporosis. Además, los efectos fisiológicos inducidos por las vibraciones se han explotado recientemente para inducir adaptaciones particulares, en términos de aumento de la fuerza contráctil en sus diversos aspectos, incluso en el ámbito deportivo. Otro campo terapéutico de las vibraciones, aunque poco conocido, es la rehabilitación funcional. El objetivo de este artículo es ilustrar los principios neurofisiológicos del trabajo con vibraciones."

Hoy podemos **definir dos formas** que las vibraciones mecánicas pueden llegar a nuestro cuerpo:



1. La primera es capaz de estimular de forma potente y selectiva determinados tipos de receptores nerviosos implicados en el control motor. Por tanto, se limita a un solo músculo o a pequeños grupos de músculos adyacentes, por lo que se denomina **vibración focal (VF)**;
2. La segunda forma implica a todo el cuerpo. Se aplica con la postura en completa descarga, con las articulaciones en decoaptación. Se aplica en puntos precisos, con frecuencias específicas. Esta aplicación, con irradiación limitada y en puntos simétricos, no provoca la generación y propagación de frecuencias armónicas bajas, perjudiciales para las estructuras del cuerpo humano, sino que sólo implica la estimulación de los mecanorreceptores cutáneos. Esta forma se denomina **vibración multifocal (Keope MFV)**.

5.1 VIBRACIÓN FOCAL (FV): LA PISTA CIENTÍFICA

La FV permite un uso muy preciso del estímulo vibratorio. Se utiliza ampliamente en investigación para activar el sistema propioceptivo de músculos o articulaciones individuales. Hace tiempo que se intenta utilizarla con fines terapéuticos, ya que su acción sobre los husos neuromusculares es bien conocida¹⁵.

Mientras que la plataforma vibratoria tiene una difusión masiva a lo largo del cuerpo, determinada por una única fuente situada en la zona plantar, la PV y la MFV, al quedar confinadas a pequeños distritos, evitan el fenómeno típico de la propagación de señales mecánicas a través de estructuras no homogéneas como los tejidos biológicos (grasa, piel, músculos, huesos, cartílagos, tejido conjuntivo, etc.), es decir, la distorsión de la señal aplicada. Con la FV, y también con la VMF, se sabe qué señal se aplica, qué terminaciones nerviosas se estimulan y qué señal llega a los centros.

En los últimos años, se han identificado una serie de parámetros de la VP que pueden alterar de forma persistente el control motor. En particular, las investigaciones han puesto de relieve **tres aspectos relevantes**:

1. Como ya han documentado ampliamente numerosos autores¹⁶, la frecuencia de vibración debe ser una señal "pura", constituida por un único armónico, es decir, una única frecuencia, capaz de dar lugar a un fenómeno de "conducción";
2. los efectos sólo persisten si se aplica una frecuencia pura comprendida entre 90 y 120 Hz¹⁷ (en lo que respecta al estímulo tono muscular);
3. Los efectos persisten si la estimulación se prolonga durante al menos 10 minutos¹⁸. Además, PV y MFV son capaces de modificar la excitabilidad cortical del área ¹⁵ accionamiento primario, tanto durante la vibración como una vez finalizada ésta¹⁹. Por ello, algunos grupos de investigación han abordado el problema de forma sistemática,

con el fin de definir un protocolo de aplicación capaz de obtener resultados repetibles y, por tanto, evaluables en los mecanismos subyacentes ^{20 21 22 23}.

5.1.1 VIBRACIÓN MECÁNICA FOCAL (VF) Y RECEPTORES NERVIOSOS MUSCULOTENDINOSOS

Los músculos y tendones poseen dos tipos de receptores nerviosos inervados por fibras de mediano y gran calibre, es decir, con alta velocidad de conducción, los husos neuromusculares y el órgano tendinoso de Golgi (OTG).

Las primeras, mediante fibras sensitivas denominadas convencionalmente Ia (primarias, con velocidad de conducción entre 72 y 120 m/s) y II (secundarias, con velocidad de conducción entre 24 y 72 m/s), tendrían la función de controlar la velocidad y el grado de alargamiento o acortamiento de las fibras musculares²⁴.

Estas últimas, cuyas fibras nerviosas se denominan Ib (con una velocidad de conducción de entre 72 y 120 m/s), se consideran diseñadas para detectar las tensiones desarrolladas por las unidades motoras individuales ²⁵.

En 1963, el Profesor R. Bianconi, primer catedrático de Fisiología Humana de la Universidad Católica de Roma, demostró cómo la vibración mecánica, aplicada a un solo músculo, a amplitudes y frecuencias apropiadas, era capaz de activar selectivamente las aferencias fusiformes primarias (Ia) y secundarias (Iib) o GTO, en función de las características del estímulo.

Además, no sólo se demostró que era posible activar clases seleccionadas de receptores de forma totalmente no invasiva, sino que también se puso de relieve otro aspecto de extraordinaria importancia para la investigación: **debido a ciertas características de frecuencia y amplitud de la aplicada, estos receptores generan frecuencias de potenciales de acción fieles a la frecuencia de la vibración aplicada, guiando (el fenómeno de "conducción") a las aferentes activadas a una frecuencia de descarga idéntica a la de estimulación** ^{26 27}.

La "conducción" permite conducir una AFECCIÓN FUSAL PRIMARIA a frecuencias de 20 o 30 o 100 Hz aplicando vibraciones a frecuencias de 20 o 30 o 100 Hz, sin tener que utilizar estímulos eléctricos ni tener que aislar quirúrgicamente las fibras nerviosas, sino simplemente aplicando una vibración mecánica a un solo músculo.

Con frecuencias apropiadas y amplitud de vibración es posible tanto seleccionar la aferentes activadas, y determinan la frecuencia de los potenciales de acción enviados al Sistema Nervioso Central.



Por primera vez, se podían enviar frecuencias de potenciales de acción predefinidas a centros específicos del Sistema Nervioso Central (los que funcionan utilizando la información de los husos y los GTO), eligiendo adecuadamente los parámetros de vibración, siguiendo, al mismo tiempo, modos de activación no invasivos y vías aferentes fisiológicas. Esto supuso un cambio radical en las modalidades de estimulación de las vías sensitivas en comparación con las realizadas, mediante estimulación bioeléctrica, en troncos nerviosos enteros o incluso en fibras individuales, que son altamente no fisiológicas e inespecíficas.



5.2 VIBRACIÓN MULTIFOCAL (KEOPE MFV)

ESTRUCTURA DISEÑADA PARA CREAR EFECTOS POSITIVOS INDUCIDOS POR VARIAS VIBRACIONES MECÁNICAS FOCALES

En 1991, el Centro de Investigación del Comportamiento Humano (Centro di Ricerca sul Comportamento Umano - Centro A.M. di Sirtori - LC) inició y posteriormente concluyó los trabajos de construcción de una estructura ergonómica ideal para la aplicación de vibraciones sobre el cuerpo humano.

El cuerpo humano puede considerarse un sistema con n grados de libertad, no vibra como una única masa con una única frecuencia natural, sino que cada masa, es decir, cada una de sus partes tiene su propia frecuencia de resonancia específica, por lo que **la aplicación de vibraciones no puede realizarse partiendo de un único punto del cuerpo y propagando después los efectos al resto del organismo**. Esto no sólo no produce los resultados deseados, sino que genera efectos negativos en todo el organismo.

Lo óptimo se consigue localizando las vibraciones en zonas corporales concretas, de forma muy precisa, para focalizar el efecto de la vibración en la zona deseada, donde luego es necesario aplicar las vibraciones, evitando dispersiones innecesarias. Como se ha explicado en el capítulo anterior, éste es precisamente elemento central de la aplicación focal.

En los últimos años, el Centro AM ha identificado una **nueva forma** de aplicar la vibración al cuerpo humano: la **Vibración Multifocal**, que funciona mediante **vibraciones mecánicas a frecuencias específicas**, aplicadas **a zonas concretas del cuerpo**, correspondientes a inserciones precisas de cadenas musculares; **zonas que implican a todo el sistema musculoesquelético**.

Esto ha sido posible gracias a un invento anterior: Keope, la única estructura ergonómica esencial que permite al cuerpo humano adoptar una postura **en completa descarga funcional**. Esta estructura minimiza el contacto corporal, eliminando así compresiones innecesarias y mejorando la circulación sanguínea, la ventilación pulmonar y reduciendo el trabajo cardíaco. Además, esta estructura **permite la aplicación de vibraciones en la decoaptación de las vértebras y las grandes articulaciones**.

La acción de varios microvibradores en zonas concretas con frecuencias específicas permite maximizar los efectos beneficiosos de la vibración que han demostrado múltiples investigaciones científicas en los últimos años.



Capítulo 6

UN PROTOCOLO PARA APLICAR VIBRACIONES AL CUERPO HUMANO

Como hemos señalado en los capítulos anteriores, se sabe desde hace más de 40 años que la vibración mecánica localizada en músculos individuales es capaz de activar poderosamente los propioceptores musculotendinosos. Dado que este estímulo es totalmente indoloro y no invasivo, hace tiempo que se intenta utilizar este procedimiento para mejorar el control motor. Sin embargo, las mejoras, cuando se producían, desaparecían unos instantes después de finalizar la vibración.

Recientemente se han identificado parámetros de vibración y un protocolo de aplicación capaces de inducir cambios plásticos, y por tanto persistentes, en el control motor. Estos resultados abren nuevos espacios inéditos para la rehabilitación, ya que el control de la rigidez articular escapa en gran medida a nuestra conciencia, lo que constituye un serio obstáculo para la labor del fisioterapeuta.

El Instituto de Fisiología Humana de la Universidad Católica del Sagrado Corazón de Roma y el Instituto de Medicina Física y Rehabilitación de la Universidad La Sapienza de Roma llevaron a cabo una serie de experimentos.

Los resultados mostraron que la exposición a dicha vibración durante 10 minutos continuos, tres veces al día, durante tres días consecutivos, es adecuada para obtener el máximo efecto con el menor tiempo de aplicación. También se observó que la realización de una vibración continua de 30 minutos, sin ni siquiera un intervalo muy corto, reduce notablemente los efectos, probablemente debido al fenómeno de habituación. Debido a esta exposición repetitiva a la vibración, se introdujo el nombre rMV (Repetitive Muscle Vibration).

Por último, los efectos sólo son perceptibles si el sujeto mantiene el músculo a tratar en ligera contracción voluntaria e isométrica durante todo el periodo en que se activa la vibración. Inicialmente, se eligió esta condición para facilitar la transmisión de la vibración mecánica en el contexto muscular, gracias al aumento de rigidez inducido por la contracción muscular y para aumentar la sensibilidad de los husos neuromusculares mediante la activación concomitante de los circuitos gamma. Posteriormente, se atribuyó a este aspecto del protocolo un papel mucho más importante.



6.1 EL PRIMER ESTUDIO EN SUJETOS SANOS SOBRE EL POTENCIAL OF rMV: Acción de la rMV en el control de la rigidez articular

Un estudio doble ciego, decisivo definir los efectos y comprender los mecanismos de acción de este sistema integrado particular, compuesto por un protocolo y un dispositivo "ad hoc", se llevó a cabo en sujetos ^{sanos}²⁸ mediante la aplicación de rMV en el músculo cuádriceps.

El estudio sugirió que la acción de la vibración prolongada era capaz de modificar de forma persistente (pruebas realizadas 15 días después del tratamiento) el control motor de la principal articulación tratada. En particular, los sujetos mostraron un notable aumento (+40%) de la resistencia a la fatiga en ejercicios repetidos (movimientos de extensión de las piernas bajo carga).

Este aumento se atribuyó a una mejora del control de la rigidez articular, inducida por una reducción de la impedancia articular dictada por las coactivaciones musculares. La disminución paralela del tiempo de subida de la fuerza de contracción isométrica máxima (que permaneció invariable, antes y después del tratamiento) se atribuyó a la estabilización articular más fina, manifestada por la probable reducción de las coactivaciones, que permitió al sistema nervioso explotar la fuerza del cuádriceps con mayor eficacia.

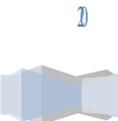
En resumen, protocolo desarrollado presentaba algunos efectos totalmente novedosos y sugería posibles mecanismos. En particular, se señaló que:

1. la aplicación de una vibración de baja amplitud ($< 0,1$ mm), a 100 Hz, durante 10 minutos consecutivos, 3 veces al día, durante 3 días consecutivos, es capaz de inducir cambios importantes y persistentes en el rendimiento motor.
2. La rMV parece actuar directamente sobre motor, aumentando el control articular y, en particular, el control de la rigidez articular.

Las innovaciones introducidas por este estudio fueron realmente llamativas, de hecho, este primer estudio esbozó un sistema integrado consistente en un protocolo y una instrumentación particular capaces de inducir efectos sobre el control motor de una duración mínima de 15 días y de gran intensidad en tan sólo 90 minutos.

Además, el mecanismo de acción parecía residir en una modificación control de la rigidez articular, es decir, en una acción directa sobre el Sistema Nervioso Central y sobre un parámetro: la **rigidez articular**.

La rigidez articular es uno de los parámetros más complejos y determinantes en el control motor. En particular, el control de la rigidez articular es el quid de la rehabilitación motora, y se gestiona totalmente al margen del control



voluntaria y, por tanto, sólo modificable por el terapeuta a través de vías indirectas y, por tanto, difíciles, lentas e inciertas.

Es un aspecto que afecta a casi todas las patologías motoras, piénsese en la espasticidad o en la hipotonía muscular (respectivamente excesos y déficits de rigidez articular) y en las consecuencias que éstas tienen en los déficits motores, en la calidad de vida y en el obstáculo que constituyen para que el dúo terapeuta-paciente llegue a estrategias motoras correctas.

A raíz de estas deducciones, el estudio se amplió a situaciones en las que la rigidez articular se alteraba explícitamente, ya fuera en el sentido de un déficit o de un aumento.

6.2 CORRELATOS NEUROFISIOLÓGICOS

Ambos estudios descritos anteriormente sugerían que **la rMV era capaz de inducir cambios plásticos en el sistema nervioso central, en particular en los circuitos de control del músculo tratado** y quizás en **circuitos** funcionalmente relacionados. Estos resultados hicieron imprescindible buscar correlatos neurofisiológicos a los datos obtenidos en el estudio del rendimiento motor.

El mecanismo desencadenado parecía capaz de modificar la gestión de la rigidez articular, un control muy complejo que requiere la interacción de numerosos grupos de unidades motoras pertenecientes a músculos anatómicamente diferentes, con modificaciones finas y rápidas en el curso del acto motor. **Por consiguiente, las modificaciones plásticas en el Sistema Nervioso debían buscarse "aguas arriba", en el Sistema Nervioso Central. Así pues, la atención se centró en la corteza motora primaria (M1).**

Mediante una técnica no invasiva y relativamente sencilla, la estimulación magnética transcraneal (EMT), pueden estimularse microáreas de esta región. Las células piramidales activadas activan a su vez las poblaciones motoras espinales y la señal eléctrica muscular evocada (Potencial Evocado Magnético, PEM) por dicha estimulación cortical puede registrarse mediante un EMG de superficie. De este modo, es posible estudiar la extensión cortical de las zonas implicadas en el control de determinados músculos, su nivel de excitabilidad y, mediante procedimientos algo más complejos, los mecanismos de control ejercidos por los circuitos corticales sobre esas mismas zonas.

Para este estudio, dirigido por Barbara Marconi ²⁹, investigadora de la Fondazione S. Lucia y de la Fundación EBRI, junto con otros colaboradores, se aplicó rMV en el músculo Flexor radial del carpo en sujetos sanos.



La aplicación de EMT demostró que el tratamiento con rMV estimuló mecanismos inhibitorios intracorticales en las áreas relacionadas con el músculo tratado, mientras que las áreas correspondientes al músculo antagonista (el extensor común de los dedos) se vieron facilitadas. **Los efectos sólo estuvieron presentes en la combinación contracción muscular voluntaria + vibración** y persistieron durante al menos 15 días, con una vuelta a la situación previa a la VMr en los 30 días posteriores al tratamiento.

La necesidad de asociar contracción muscular voluntaria + vibración sugiere que el fenómeno plástico es inducido por un mecanismo de tipo asociativo, que implica una activación asociada de diferentes poblaciones celulares.

Desde punto de vista de la significación funcional, se cree que un aumento de la inhibición en los circuitos intracorticales de M1 favorece la identificación de los músculos que deben utilizarse durante el movimiento, reduciendo las contracciones no deseadas o, en un sentido más general, las co-contracciones no deseadas. Este mecanismo se ve acentuado, por supuesto, por procesos de inhibición cortical recíproca, en virtud de los cuales la activación de un grupo muscular inhibe al antagonista y viceversa. Así pues, el tratamiento con rMV parece activar ambos mecanismos, que, funcionalmente, se cree que contribuyen a la regulación de las cocontracciones.

El mecanismo de co-contracción es, para bien o para mal, decisivo en nuestros movimientos, pero también constituye, como ya se ha mencionado, un problema importante en el entrenamiento y la rehabilitación.

Las cocontracciones son fundamentales para regular la rigidez articular, pero, al mismo tiempo, provocan un aumento del gasto energético y metabólico, una reducción de la eficiencia muscular, un aumento de la fatiga y una reducción de la velocidad de ejecución. Así pues, los resultados del estudio de EMT parecían coherentes con lo que se había hipotetizado en estudios anteriores^{30 31}: **la VMr parece ser capaz de potenciar los mecanismos de control motor, que se cree que están implicados en el control articular.**

La posibilidad de que la rMV produzca una reducción de las co-contracciones y una mejor gestión agonista/antagonista también es coherente con el aumento de la resistencia a la fatiga y la reducción de los tiempos de explosión de la fuerza observados en sujetos sanos.

La mejora de las co-contracciones, por un lado indispensable, por otro un obstáculo para la ejecución motora, es muy difícil, al igual que el control conjunto en un sentido más amplio.

De hecho, se trata de ajustes que escapan a nuestra voluntad y conciencia y dependen de enteramente por la acción del Sistema Nervioso Central. Por tanto, cualquier intervención sobre ellos sólo es muy indirecta y, en consecuencia, extremadamente lenta y fatigosa, como atestiguan las características del entrenamiento deportivo y de la rehabilitación motriz. **La rMV, basada en estas**



resultados, parece ser capaz de actuar de forma directa, rápida y completamente no invasiva sobre estos mecanismos.

En el estudio de Marconi, la situación volvió a ser la misma que antes de la VMr en 30 días, mientras que los sujetos con reconstrucción del LCA, seguidos hasta 120 días después del tratamiento, sin repetición del mismo, siguieron aumentando su rendimiento. Estas diferencias radican probablemente en la falta de consolidación de los efectos plásticos en el caso del tratamiento del flexor radial del carpo en sujetos sanos en comparación con el de los pacientes con reconstrucción del LCA. En los primeros, de hecho, tras el tratamiento con VMr, el grupo muscular tratado siguió utilizándose como antes del tratamiento. En los segundos, en cambio, la rehabilitación estimuló aún más el control de la rodilla. Así pues, la situación neuromotora del flexor del carpo volvió fisiológicamente a la situación "normal" en los sujetos sanos, mientras que en los pacientes operados, la rehabilitación empujó a aumentar y, sobre todo, a consolidar los efectos de la rMV.

Estas consideraciones subrayan la importancia de la interacción entre la VMr y el ejercicio, basándose tanto en los datos experimentales obtenidos con el uso de la VMr como en lo que se sabe de la neurofisiología.

Para resumir, algunos puntos parecen relevantes en las diversas investigaciones sobre la rMV:

- ✓ **El rMV es un protocolo no invasivo basado en una vibración de amplitud particularmente baja.** La estimulación parece totalmente tolerable **a partir de los 4 años**, fácil de aplicar, aunque se basa en un conjunto de normas muy estrictas. Asimismo, los parámetros de vibración deben ser completamente constantes y pequeñas variaciones pueden anular los resultados, lo que hace que la instrumentación sea casi inmutable desde el punto de vista técnico.
- ✓ La rMV no es separable de la rehabilitación, es sólo un procedimiento destinado a abrir nuevas puertas a la rehabilitación mejorando, con una acción directa sobre el Sistema Nervioso Central, el control de la rigidez articular. Una rehabilitación específica y dirigida debe sacar el máximo partido de lo que se ha conseguido. Las intervenciones posteriores en un paciente con rMV deben definirse junto con los terapeutas o, mejor aún, ser aplicadas por los propios terapeutas según el plan terapéutico establecido.
- ✓ La rMV está dando pruebas de lo que la rehabilitación lleva mucho tiempo afirmando, a saber, que la cronicidad no significa el fin de la mejoría. Resultados importantes, a menudo mostradas en vídeo en conferencias se obtuvieron más de 10 años después de la lesión.
- ✓ La rMV para fisioterapia se presenta como **una oportunidad para entrar en áreas que están casi abandonadas hoy en día: los mayores de 80 años**, las lesiones neurológicas crónicas.

Capítulo 7

EFFECTOS POSITIVOS DE LA VIBRACIÓN EN EL CUERPO HUMANO

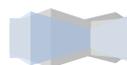
El sistema musculoesquelético constituye una compleja máquina biológica responsable de la locomoción humana. Para cumplir y realizar sus diversas exigencias funcionales, este sistema cambia constantemente de estructura y metabolismo, respondiendo al uso con cambios tanto de forma como de fuerza. Ambos sistemas están diseñados para poder soportar el mismo nivel de tensión al que está sometida la estructura ósea.

La "sobrecarga" constante (movimiento corporal) proporciona un estímulo biológico a través de factores estructurales y metabólicos, manteniendo los tejidos, tanto óseos como musculares, dentro de un límite de seguridad funcional. El reposo prolongado en cama o la inmovilización causada por una lesión pueden debilitar sus estructuras hasta el punto de limitar su función. Algunas enfermedades comunes, como la osteoporosis o la miositis, reducen la calidad y cantidad de las estructuras óseas y musculares con la degeneración asociada, que se manifiesta con síntomas clínicos. Cuando se reducen drásticamente las cargas diarias a soportar, el resultado es una notable atrofia muscular cuya vida media dura unos 8-10 días, con una degradación selectiva de la estructura proteica que forma el componente contráctil del músculo, especialmente a expensas de las fibras lentas. Esta es la causa de la disfunción y disminución de la fuerza tanto ósea como muscular con la llegada de la vejez.

Se ha demostrado que los ejercicios de corta duración, pero de muy alta intensidad, producen efectos positivos en las estructuras óseo-musculares y articulares; tanto es así que tanto la masa como la fuerza se mantienen a un alto nivel en respuesta a estos esfuerzos cíclicos. Sin embargo, el hombre es normalmente sedentario, especialmente en su vejez. Y, a menudo, su actividad física se reduce a la simple locomoción para las funciones cotidianas normales. **La locomoción humana diaria representa el estímulo mecánico mínimo que garantiza el tono muscular básico. Por eso se recomienda que los ancianos caminen mucho.** Este, generalmente necesario para vencer la fuerza la gravedad, **apenas basta para proteger los huesos de las fracturas.** De hecho, durante la locomoción, al impactar con el, se genera un tren ondas de choque que se transmiten por todo el cuerpo. Estas vibraciones se transmiten a través del pie, la pierna, la columna vertebral y el cuello. Esto representa un fuerte estímulo para la formación ósea durante la vida humana. Por desgracia, **la concepción moderna de vida limita gravemente la actividad de movimiento,** con un fuerte aumento

24

de hipocinesia y, por lo tanto, esto provoca un efecto negativo en el sistema musculoesquelético. Para compensar la falta de movimiento, varias



proyectos para estimular e inducir a la población a aumentar la actividad física, desgraciadamente debido a la falta de equipamiento y a un estilo de vida equivocado esto no sucede en cantidades muy pequeñas. A menudo insuficiente para evitar riesgos.

En este sentido, **la investigación ha demostrado que la vibración mecánica es un fuerte estímulo para todo el organismo y, en especial, para el sistema neuro-muscular y esquelético. A continuación se resumen los principales efectos positivos de la mecanovibración, constatados por la investigación científica en los últimos 40 años.**

7.1 LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES EN EL SISTEMA HORMONAL

Como se sabe desde hace tiempo, existe una relación entre la disciplina deportiva practicada y el perfil hormonal del deportista. En efecto, el ejercicio repetido es capaz de inducir una respuesta hormonal importante, no sólo en términos de adaptación al ejercicio en sí, sino también en forma de respuesta a largo plazo al mismo.

Del mismo modo, la aplicación de vibraciones mecánicas al cuerpo humano también es capaz de producir **una respuesta hormonal adaptativa**, produciendo, por ejemplo, **un aumento de la concentración plasmática de testosterona (T) y hormona del crecimiento (GH)**, al mismo tiempo que una **disminución de la concentración de cortisol (C)**. **El aumento de T y GH es atribuible a la acción de los metarreceptores musculares**, mientras que la disminución de C es probablemente atribuible a un efecto estimulador insuficiente del comando motor central y de la retroalimentación nerviosa en los músculos esqueléticos.

Según un estudio del Prof. Carmelo Bosco (2000), **la variación de la concentración de estas hormonas también va acompañada de un aumento de la potencia mecánica de los músculos sometidos a vibración**, lo que lleva a la hipótesis de que, aunque ambos fenómenos se produzcan forma independiente, pueden tener mecanismos subyacentes en común.

Entre las hormonas cuya secreción se ve fuertemente estimulada por las vibraciones mecánicas, cabe mencionar en primer lugar la serotonina (5-hidroxitriptamina), una amina biógena derivada de la descarboxilación del 5-hidroxitriptófano. La serotonina es producida por las células enterocromafines de la mucosa intestinal y está presente en el sistema nervioso, el músculo liso y las plaquetas sanguíneas. Es un potente vasoconstrictor local y tiene un efecto hipotensor general, también desempeña un papel importante en hemostasia, estimulando la reparación de los vasos lesionados.



La vibración también estimula la **producción de neurotrofinas**, una familia de proteínas, a la que pertenece el NGF, que actúan **regulando la muerte celular natural de las neuronas que se produce durante el desarrollo**. Las neurotrofinas también **son capaces de estimular la supervivencia de distintas poblaciones de neuronas** in vitro.

Las **endorfinas**, neuropéptidos opioides que imitan la acción analgésica y los efectos sobre el comportamiento de la morfina (acción similar a la morfina), también **se ven fuertemente estimuladas por la exposición a las vibraciones**.

Por último, hay que recordar cómo **las vibraciones estimulan la secreción de IGF-I, o somatomedina C, que es uno de los dos factores de crecimiento polipeptídicos** (el segundo IGF-II) y está formado por moléculas compuestas de 70 aminoácidos, con un 45% de homología insulina. **La función fisiológica del IGF-I es mediar la acción de la hormona del crecimiento, estimulando el desarrollo del esqueleto**.

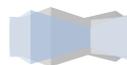
7.2 LA EFECTOS DE VIBRACIÓN EN SISTEMA SISTEMA MÚSCULO ESQUELÉTICO

Durante la locomoción, al impactar con el , se genera un tren de ondas que se transmite a todo el cuerpo a través del pie, la pierna, la columna vertebral y el cuello. Este tren de ondas representa un fuerte estímulo para todo el organismo, especialmente para el sistema musculoesquelético, ya que representa la estimulación mecánica mínima que garantiza el mantenimiento del tono muscular básico. De hecho, los músculos y los huesos interactúan y reaccionan continuamente bajo la acción de una carga constante, representada por el peso del cuerpo.

Cuando se pierde esta carga diaria, por ejemplo debido a un reposo prolongado en cama o a una inmovilización causada por una lesión, las estructuras pueden debilitarse hasta tal punto que sus funciones se vean limitadas y , en particular, una atrofia muscular.

Se ha demostrado que la aplicación de vibraciones mecánicas de alta intensidad y corta duración tiene efectos positivos en la estructura ósea, muscular y articular, de forma que tanto la masa como la fuerza de los tejidos se mantienen a un nivel elevado, lo que se traduce en una reducción de la pérdida muscular y ósea ³².

Estos cambios en la respuesta neuromuscular se atribuyen principalmente al **la actividad de los centros motores superiores** y a la mejora sustancial de 26 órdenes nerviosas que regulan la respuesta neuromuscular.



Las vibraciones mecánicas, aplicadas localmente a la estructura muscular y/o tendinosa (40 Hz), provocan la activación de los receptores del huso neuromuscular (receptores del huso muscular), a nivel del complejo músculo-tendinoso directamente sometido a tensión, pero también de los grupos musculares adyacentes.

Este tipo de respuesta del músculo al esfuerzo vibratorio se denomina "reflejo vibratorio tónico" (RTV).

Está científicamente documentado que la RTV induce un aumento de la fuerza contráctil de los grupos musculares implicados, lo que se traduce en un claro cambio tanto en la relación fuerza-velocidad como en la relación fuerza-potencia ³³.

Así pues, el entrenamiento vibratorio puede asimilarse a una sucesión de contracciones de pequeña amplitud, que provocan cambios rítmicos modestos pero significativos en la longitud del complejo músculo-tendinoso sometido a vibración. Este comportamiento mecánico particular induce una facilitación de la excitabilidad del reflejo espinal.

A este respecto, de hecho, **algunos estudios han propuesto que la RTV opera predominantemente, si no exclusivamente, a través de las motoneuronas alfa** y no utiliza los mismos patrones corticales eferentes que el movimiento voluntario. Sin embargo, también es **posible que la RTV, inducida por las propias vibraciones, induzca un aumento del reclutamiento de unidades motoras a través de una activación de husos neuromusculares y patrones de activación polisinápticos** ³⁴.

7.3 LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES EN EL TEJIDO ÓSEO

El sistema esquelético desempeña esencialmente tres funciones:

- La primera es proporcionar apoyo mecánico a los músculos y tendones, para que el movimiento sea posible;
- la segunda es proteger los órganos vitales;
- mientras que la tercera consiste en proporcionar una reserva de calcio orgánico destinada a estabilizar la calcemia.

Por estas razones, el esqueleto, a cualquier edad biológica, no constituye una masa inerte sino al contrario, una entidad plástica en continua renovación: basta pensar en el proceso de remodelación ósea durante el crecimiento, o en la necesidad de fenómenos reparadores apropiados en caso de fractura, sin olvidar el papel de la reserva calcio orgánico.

El comportamiento plástico está orquestado por dos fenómenos fisiológicos muy específicos:

- osteoreactividad, proporcionada por los osteoclastos;



- osteoformación atribuible actividad de los osteoblastos.

La relación entre estos dos fenómenos, fisiológicamente antagónicos entre sí, se traduce en el posible mantenimiento, pérdida o adquisición de masa ósea.

Desde hace tiempo se sabe que el factor mecánico desempeña un papel crucial en el control dinámico de la remodelación ósea, permitiendo que la estructura ósea se adapte al estrés. Por este motivo, disminución de la tensión mecánica esquelética puede suponer un grave problema para el mantenimiento de la masa ósea. Por ejemplo, la **inmovilización con yeso puede ser la causa de una pérdida ósea importante y rápida, fácilmente reversible en los adultos, pero en gran medida definitiva en los pacientes geriátricos.**

Los mecanismos por los que la actividad física puede influir positivamente en el proceso de remodelación ósea son relativamente complejos. Desde un punto de vista celular, parece que sólo los osteoblastos están dotados de mecanorreceptores y que, por esta misma razón, son capaces de responder positivamente a un aumento de las fuerzas de compresión. Por la misma razón fisiológica, una disminución de estas últimas es capaz de disminuir la actividad osteoblástica, dejando inalterado el proceso de resorción ósea.

Las evidentes mejoras de la función muscular inducidas por la administración de tratamientos vibratorios producen tensiones muy eficaces en las funciones biológicas de los huesos sobre los que se colocan; de hecho, la fuerza generada por el tejido muscular está fuertemente correlacionada con el desarrollo de la masa ósea y su capacidad de resistencia mecánica.

La estructura ósea sometida a un alto nivel de estrés mecánico, como en el caso del ejercicio intenso, es capaz de suprimir el mecanismo de remodelación ósea, facilitando así el proceso conservador. Sin embargo, sólo el entrenamiento intenso y prolongado ha demostrado influir positivamente en la densidad mineral ósea (DMO). La eficacia del esfuerzo muscular es especialmente evidente en el eje transversal, que es el más débil y, por tanto, el más propenso a las fracturas.

Debido a su elevada intensidad y duración, los ejercicios físicos no están bien adaptados a una población de edad avanzada o a individuos con fracturas.

La aplicación de vibraciones, por otra parte, permite someter al aparato esquelético y muscular a un estrés intenso sin requerir un alto grado de compromiso por parte del paciente, por lo que resulta ser una estrategia de intervención especialmente adecuada en determinados casos. Incluso si se estudia una explicación inequívoca y clara de la

fenómeno, **la acción de las vibraciones mecánicas sobre los mecanismos de la remodelación ósea es evidente y se ha descrito en muchos estudios clínicos realizados en pacientes**



que sufren fracturas óseas u osteoporosis. En ambos casos, los sujetos tratados con terapia vibratoria mostraron una acentuación real de la actividad ^{osteogénica}³⁵.

Por lo tanto, la aplicación de la terapia vibratoria es capaz de interferir positivamente en el metabolismo óseo, incluso en presencia de degeneración osteoporótica, y dada la evidencia de que la terapia vibratoria es capaz de promover un aumento de la DMO, se puede afirmar que es un medio terapéutico de elección en medicina geriátrica como parte de las terapias para el tratamiento y prevención de la osteoporosis.

La osteoporosis es una osteopatía metabólica de etiología compleja, caracterizada por una disminución localizada o generalizada del tejido óseo, cuya matriz osteoide, como consecuencia de un desequilibrio entre la velocidad de síntesis y la velocidad de degradación, sin dejar de estar normalmente mineralizada, está cuantitativamente reducida. En el examen radiológico se observa una rarefacción ósea, un adelgazamiento y una reducción numérica de las trabéculas, así como un aumento de los espacios medulares. Se distingue entre una forma senil y postmenopáusica, y una forma secundaria inmovilización prolongada o a trastornos endocrinos. En la población femenina en particular, el déficit de estrógenos que se produce durante el período de la menopausia provoca una aceleración del recambio óseo y una pérdida de masa ósea, razón por la cual la osteoporosis afecta a una de cada cuatro mujeres, mientras que en la población masculina la proporción es de una de cada ocho. **Dado el progresivo aumento de la edad media de la población, la osteoporosis ha adquirido ya dimensiones de un verdadero problema socioeconómico, que aqueja a la población anciana (y no sólo) a escala mundial.** Sólo en Italia, el coste social de esta enfermedad asciende a quinientos millones de euros al año. **El ejercicio se recomienda encarecidamente a los pacientes que padecen osteoporosis, tanto como parte de su tratamiento como forma de terapia preventiva.** De hecho, **la estimulación mecánica fisiológica inducida por el ejercicio resulta ser particularmente útil tanto para limitar la pérdida ósea como para estimular el aumento de la masa ósea.** De hecho, la osteoporosis va acompañada de una mayor propensión a las fracturas.

Precisamente por los efectos que tiene en los pacientes osteoporóticos, razón de más para que la vibración mecánica sea también (y sobre todo) aplicable con resultados asombrosos a los pacientes con fracturas de los miembros superiores e inferiores. En efecto, la vibración induce una aceleración del crecimiento óseo que permite soldar el hueso fracturado en un tiempo extremadamente inferior al normal, con evidentes beneficios clínico-económicos en primer lugar para el paciente, pero también para el Servicio Nacional de Salud. Cabe señalar que la incidencia de las fracturas de cadera debidas a simples caídas, alcanza en la población

ancianos, cifras del orden del 90%, sin tener en cuenta las llamadas fracturas de cadera causadas por por la reducción ósea debida únicamente a la osteoporosis, por lo que la vibración en este caso es de extrema importancia y utilidad ³⁶.



7.4 LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES EN LAS PERSONAS MAYORES

En los sujetos de edad avanzada, los mecanorreceptores situados a nivel de los osteoblastos, que normalmente responden a un aumento de las fuerzas aplicadas, disminuyen su respuesta con la misma carga global; de este modo, la actividad osteoblástica se desliga progresivamente de la actividad osteoclástica, lo que induce una cascada de fenómenos fisiológicos que se traducen en una pérdida más o menos importante de masa ósea.

Además, es conocido por todos cómo el proceso de envejecimiento conduce a una sedentarización progresiva del estilo de vida del sujeto, y también a **diversas enfermedades**, entre ellas (como ya se ha mencionado) **la osteoporosis**.

La capacidad de la rMV para actuar sobre el control de las co-contracciones ha sugerido dos áreas de intervención aparentemente opuestas, pero en realidad con un denominador común, la alteración del control articular: **la inestabilidad de los ancianos y los cuadros neurológicos caracterizados por la espasticidad**.

El mal control articular en la espasticidad se manifiesta esencialmente en el desequilibrio entre agonistas y antagonistas y en la disinerxia. **En las personas mayores, el control articular deficiente desempeña sin duda un papel importante en la pérdida de estabilidad y la disminución de la fuerza**. La pérdida de estabilidad en particular reviste una importancia considerable, ya que **el problema de las caídas supone un enorme coste social: sólo las fracturas de fémur** resultantes suponen más **de mil millones de euros** al año en costes directos e indirectos y **la muerte de más de 16.000 mayores de 65 años al año**. Además, el cuadro de inestabilidad de las personas mayores es un típico círculo vicioso que las caídas aceleran. En efecto, la persona se siente débil e inestable, por lo que reduce su actividad física y también sus actividades cotidianas. Esta reducción acentúa la fatiga y la inestabilidad, y el círculo se cierra.

Durante mucho tiempo, se intentó compensar este déficit tratando de aumentar la fuerza del sujeto mediante un entrenamiento incluso de alto impacto, lo que, sin embargo, es difícilmente aceptable para los sujetos de edad avanzada. Sin embargo, más recientemente se ha demostrado el papel que desempeñan las cocontracciones en los ancianos y la pérdida de control propioceptivo que se produce. De hecho, **la pérdida de control (más que la pérdida de fuerza) empuja a los ancianos a endurecerse, recurriendo más a las cocontracciones**³⁷. **Se puede decir, paradójicamente, que la persona mayor se mantiene en pie fuerza más que con equilibrio**.

El primer estudio sobre los efectos del tratamiento con rMV en ancianos se realizó en la Universidad de Perugia, en colaboración con la Universidad Católica y la Universidad Sapienza de Roma.

También en este estudio presentado de forma preliminar en²⁰⁰⁴³⁸ y ahora en revisión en Eur J Appl Physiol, realizado a doble ciego y utilizando tanto rMV como un



falsa estimulación, se estimuló **el cuádriceps de mujeres mayores de 60 años**. Las pacientes recibieron **un solo tratamiento de VMr** y ninguna de ellas participó en programas de actividad física antes del tratamiento ni durante el periodo de estudio (90 días).

De nuevo, a las 24 horas de finalizar el , los índices analizados (potencia en salto y balanceo del cuerpo en postura monopodal) mejoraron significativamente, y **durante los 90 días siguientes, la mejoría se acentuó, alcanzando y manteniendo hasta el 90º día del estudio un aumento de alrededor del 35% en la potencia de las piernas y de alrededor del 40% en la estabilidad.**

El mantenimiento prolongado de los resultados en este caso se atribuyó a la consolidación de los efectos plásticos por el aumento espontáneo de las actividades cotidianas simples. **Los** participantes en el estudio, **tratados con rMV** (en los otros dos grupos no se observó ningún efecto), aunque no realizaban ningún entrenamiento específico, **todos declararon moverse con menos fatiga y más fácilmente en el transcurso del día, para ir de compras, limpiar la casa, subir escaleras, etc.** El cuadro sugiere que la rMV ha roto el círculo vicioso descrito, favoreciendo el aumento y el mantenimiento por consolidación de los efectos plásticos.

Este estudio no sólo confirmó las hipótesis formuladas por Marconi y colaboradores, sino que también reveló un **notable aumento de la potencia de las piernas**. Este último hallazgo puede explicarse por la mejora de la estabilidad articular y la disminución de las co-contracciones, pero se planteó la cuestión de si también podría estar presente un mejor **reclutamiento de las unidades motoras**.

De hecho, esta última hipótesis ha sido confirmada por un nuevo estudio con EMT, realizado también por el grupo del Dr. Marconi y actualmente en fase de redacción.

Los sujetos mayores de 65 años sometidos a EMTr muestran una reducción importante del umbral en las poblaciones neuronales que controlan el cuádriceps, paralelamente a un aumento de la inhibición intracortical y de la facilitación recíproca de los flexores de las piernas. La mejora de estos tres parámetros, que suelen empeorar edad, y su mejora persistente durante al menos un mes (en sujetos de edad avanzada, la EMT es muy incómoda y no se pueden realizar muchas pruebas), profesan una contraacción de la rMV contra el deterioro motor típico del envejecimiento. Al mismo tiempo, existen pruebas de que este deterioro no es en absoluto irreversible y que, por el contrario, existen reservas plásticas considerables incluso en el Sistema Nervioso Central de los sujetos de edad avanzada.



7.5 LA EFECTOS DE VIBRACIÓN SOBRE LA OBESIDAD Y LA OSTEOPOROSIS

A partir de los estudios más recientes realizados por el Prof. C. Rubin (2009), aprendemos cómo mecánicas de baja magnitud (LMMS) son capaces de **suprimir el crecimiento de la grasa subcutánea y visceral** al tiempo que promueven **la regeneración ósea**. Estos procesos tienen lugar gracias a la **estimulación** directa mediante señales mecánicas de **células madre mesenquimales pluripotentes (MSC)**, que son células inmaduras con capacidad de autorrenovación y diferenciación continua en células específicas de un tejido. De **hecho, la osteoblastogénesis y la adipogénesis, que conducen a la formación de osteoblastos y adipocitos respectivamente, se originan a partir de estas células** entre otras muchas vías de diferenciación.

La estimulación mecánica de las MSC activa la osteoblastogénesis de forma directamente proporcional y la adipogénesis de forma indirectamente proporcional a través de la activación de los factores de transcripción Runx2, para los osteoblastos, que promueve la diferenciación, y el factor PPAR γ , para los adipocitos, que la suprime. **De este modo, este método puede representar una estrategia segura, no invasiva y no farmacológica para prevenir la obesidad e incluso la osteoporosis** ³⁹.

Precisamente en relación con esta última patología, recientemente se ha llevado a cabo un estudio (Foti C, Annino G, Bosco C et al., 2009)⁴⁰ en un grupo de mujeres osteoporóticas para demostrar los efectos positivos inducidos por el tratamiento vibratorio combinado con la actividad física. En este estudio participaron 26 mujeres de 63 años que padecían esta patología. Se dividieron en dos grupos, uno de control y otro experimental. Todas fueron sometidas a un programa de entrenamiento durante una hora, tres veces por semana durante 4 meses, y sólo el grupo experimental fue sometido a vibraciones de baja intensidad a una frecuencia de 30 Hz tras el entrenamiento. Al final del estudio, el grupo experimental mostró un aumento de la densidad ósea, mientras que en el grupo de control no se produjeron cambios significativos. Se demostró así que **este método, combinado actividad física, representa una intervención potente, no invasiva y la única no farmacológica para el tratamiento de la osteoporosis**.

7.6 LOS EFECTOS DE LA VIBRACIÓN EN LA TERAPIA DEL DOLOR

El efecto analgésico de las vibraciones se basa en la teoría del "control de la marcha", ya enunciada por Melzack y Wall en 1965, en la que se basa el fundamento científico de las corrientes TENS (Estimulación Nerviosa Eléctrica Transcutánea). Exactamente igual que en el caso del uso



de TENS, también se demostraría que las vibraciones producen especie de "bombardeo" aferente a lo largo de las fibras mielinizadas de tipo Ia, de tal intensidad que podría describirse como un verdadero efecto de "línea ocupada" ⁴¹.

Tanto desde el punto de vista clínico como experimental, parece justificado afirmar que la vibración tiene un efecto neurofisiológico, pero sólo segmentario. Esta afirmación se ve corroborada por la rapidez con la que se registra el efecto analgésico y por su disminución igualmente rápida, factores que atestiguarían la inhibición segmentaria espinal "pura", ejercida por las vibraciones, sobre los aferentes Ia, con respecto a la transmisión de la entrada nociceptiva ⁴².

Las vibraciones, el uso de calor y frío y las corrientes eléctricas son, en la bibliografía, los métodos más citados como medios de estimulación periférica con fines antiálgicos ⁴³, aunque las vibraciones, entre éstos, parecen ser el método menos utilizado. En la bibliografía se puede comprobar cómo las vibraciones se han utilizado esencialmente, con fines antiálgicos, en dolores de origen cefálico ⁴⁴, en dolores musculoesqueléticos ^{45 46 47}, en determinadas patologías dolorosas de origen neurogénico y en lumbalgias ^{48 49}.

Los tiempos de aplicación de las vibraciones utilizadas con fines antiálgicos varían, en función de los distintos protocolos experimentales de trabajo, de 5 a 30 minutos, mientras que el valor de frecuencia generalmente considerado más eficaz para este fin se sitúa en torno a los 100 Hz. En general, la técnica de aplicación prevé que la vibración se realice homolateralmente, sobre el dermatómero en el que se registra el lugar del dolor, aplicando una cierta presión con el equipo vibratorio. Tras 5 minutos de aplicación vibratoria, el dolor desaparece o, al menos, disminuye notablemente, para reaparecer 5-10 minutos después de finalizar la aplicación. Por el contrario, si la aplicación vibratoria dura 30 minutos, el efecto antálgico puede persistir hasta 5 horas ^{50 51}. También **es interesante observar cómo, en lumbalgias de intensidad media** y no asociadas a compresión radicular, **la aplicación de vibraciones** a una frecuencia de **100 Hz** y amplitud de 1,5 mm, mediante un cilindro vibratorio **colocado sobre el tendón de Aquiles, es capaz de reducir drásticamente, y en poco tiempo, la intensidad del** dolor⁵².

7.7 LA EFECTOS DE VIBRACIÓN EN LA CIRCULACIÓN SANGUÍNEA

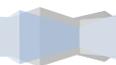
33

La aplicación de vibraciones mecánicas al cuerpo también produce un aumento de la circulación sanguínea, con un incremento de la velocidad media del flujo sanguíneo y  disminución considerable del Índice de Resistencia, medido mediante exámenes Doppler.

Sin embargo, dado que no se observó un aumento de la velocidad máxima dentro del vaso individual, es posible que el aumento de la velocidad media se deba a la dilatación de los vasos sanguíneos más pequeños, reduciendo así la resistencia periférica.

Este aumento de la circulación sanguínea tiene efectos beneficiosos sobre el metabolismo, el suministro de oxígeno a los tejidos y favorece una disminución de la presión arterial.

Esto hace que las vibraciones sean especialmente adecuadas en casos de trastornos circulatorios como la arteriosclerosis o un mal drenaje linfático.



Capítulo 8

INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS EN LAS UNIVERSIDADES ITALIANAS

El informe del Congreso del 13 de diciembre de 2008 apareció en "Paginemediche.it".

LAS VIBRACIONES MECÁNICAS SIMPLES Y REPETIDAS AUMENTAN LA FUNCIÓN CEREBRAL, MEJORANDO EL CONTROL MUSCULAR Y ARTICULAR ⁵³

En el número de diciembre de la revista Journal of Neurological Science se publican nuevos y alentadores resultados de un procedimiento denominado "rMN" (vibración muscular repetida), obtenidos en los campos de la neurología, la ortopedia, la estabilidad en ancianos y la recuperación de la fatiga en sujetos sanos. Los estudios han sido realizados por investigadores del Instituto de Fisiología Humana de la Universidad Católica de Roma, en colaboración con la Fundación Santa Lucía y el EBRI, la Universidad de Perugia y la Universidad La Sapienza de Roma.

Los fundamentos fisiológicos y los resultados del procedimiento se presentaron en el Seminario Científico titulado "Estimulación propioceptiva, control y rehabilitación motora. Nuevas evidencias clínicas y correlatos neurofisiológicos", que tuvo lugar el sábado 13 de diciembre de 2008 en el Policlínico Universitario Agostino Gemelli, promovido por el fisiólogo católico Guido Maria Filippi. Entre los ponentes se encontraban: Prof. Vito Enrico Pettorossi (Instituto de Fisiología Humana, Universidad de Perugia); Dr. Filippo Camerota (Instituto de Medicina Física y Rehabilitación, Universidad La Sapienza de Roma); Dr. Diego Ricciardi (Departamento de Ciencias Gerontológicas y Geriátricas - Policlínico Gemelli, Roma).

El protocolo se basa en un instrumento específico, que desarrolla una secuencia de señales mecánicas de amplitud muy pequeña, que son leídas por sensores nerviosos específicos de los músculos y enviadas al sistema nervioso central. Lo que parece una pequeña vibración mecánica es en realidad un código capaz de reprogramar zonas seleccionadas del sistema nervioso. Este procedimiento es el primero que actúa de forma sencilla, no invasiva y persistente sobre los controles nerviosos de los músculos. Esta estimulación, gracias a los estudios realizados por la Dra. Barbara Marconi (Fundación Santa Lucía y EBRI) y el Prof. Guido M. Filippi (Universidad Católica), es capaz de modificar la función de zonas corticales específicas de control motor, activando mecanismos capaces de favorecer una notable mejora en funciones motoras.

35

Estos resultados (publicados ahora en el Journal of Neurological Sciences) fueron observados por el



investigadores Marconi y Filippi en sujetos sanos, en pacientes que sufren secuelas crónicas del ictus (espasticidad), incluso años después de la lesión y en sujetos mayores de 70 años. Se trata de la primera prueba experimental de la existencia de tal posibilidad, que, además, puede lograrse con un procedimiento sencillo, no invasivo y esencialmente exento de efectos secundarios. El procedimiento basado en microvibraciones localizadas, al que los investigadores han dado el nombre de "rMV", Vibración Muscular Repetida, fue desarrollado por el profesor Filippi, docente del Instituto de Fisiología Humana de la Universidad Católica de Roma. La aplicación de secuencias particulares de microvibraciones mecánicas a determinados músculos del cuerpo es capaz de aumentar las funciones de ciertas zonas del cerebro, mejorando la función muscular.

El Protocolo

Este procedimiento, muy sencillo de realizar (el protocolo consiste en aplicar la microvibración 3 veces al día, 10 minutos cada vez, durante 3 días consecutivos sobre los músculos individuales sobre los que se desea actuar), ha demostrado ser capaz de producir efectos tanto positivos como sorprendentes en un abanico muy amplio de situaciones: en el ámbito neurológico, en la rehabilitación post-ictus y de la espasticidad y la flacidez, en el control de la fatiga y el dolor y de la fuerza en personas mayores con riesgo de caídas, y en patologías ortopédicas.

Este refuerzo es "a largo plazo", porque tras minutos de estimulación, se mantiene en el tiempo durante semanas y meses. El uso posterior de esta mejora (fisioterapia, entrenamiento) consolida, refuerza y mantiene los efectos durante meses, en algunas situaciones durante muchos meses.

Resultados en neurología, ortopedia, ancianos y sujetos sanos

Más concretamente, en el ámbito neurológico, sobre la base de los datos actualmente disponibles, se ha demostrado que la rMV aumenta el control motor de lo que queda de una lesión neurológica en sujetos que conservan una motilidad voluntaria residual, aunque sea mínima. También son significativas las mejoras en sujetos con formas espásticas (por, traumatismos), pero con movimientos voluntarios residuales.

En el campo ortopédico, el procedimiento ha demostrado ser muy eficaz en situaciones en las que la inmovilización, tras operaciones, o el dolor articular provocan un mal uso de los músculos. Por ejemplo, estudios preliminares realizados en el Policlínico Gemelli de Roma han demostrado reducciones del dolor en artrosis graves de hasta el 50% sólo dos semanas después del tratamiento.

En los ancianos, el tratamiento de la VMr centrado en el cuádriceps ha dado como resultado, en los estudios realizados hasta ahora por los investigadores del Cattolica junto con sus colegas  de la Universidad de Perugia (Prof. Enrico Pettorossi) y La Sapienza de Roma, en

colaboración con el Ayuntamiento de Roma, un aumento de la potencia del 70-75% y de la estabilidad del 30-35%. En concreto, un estudio realizado con 200 personas mayores de 65 años en los Centros de Ancianos de Roma demostró una disminución del riesgo de caídas en el 83% de los sujetos y un restablecimiento de la normalidad en el 89%. Sin embargo, la mejora del rendimiento muscular no se limita a los sujetos patológicos o debilitados, sino que puede extenderse a los sujetos sanos o a los deportistas. El tratamiento con rMN mostró aumentos de la resistencia a la fatiga de más del 40% y aumentos de la fuerza explosiva del 27% en individuos jóvenes que no habían realizado ningún tipo de entrenamiento en los meses anteriores y durante el estudio.

"Por amplia que pueda parecer la aplicabilidad del procedimiento y por sorprendente que sea el alcance de sus efectos", explica el fisiólogo Filippi de la Cattolica, "hay que recordar que, como demuestran los estudios realizados en colaboración entre el EBRI y la Cattolica di Roma, el procedimiento potencia las redes nerviosas y los mecanismos que regulan el control muscular, minimizando las contracciones innecesarias (presentes en la espasticidad, en los ancianos que temen caerse, en sujetos que no adquirieron un adecuado fluidez" del gesto atlético), favoreciendo el reclutamiento de las fibras musculares (ausentes en las personas sedentarias debido a la costumbre o a restricciones terapéuticas). Se trata, por tanto, de una acción directa y específica sobre redes nerviosas seleccionadas, que desempeñan un papel primordial en el control y la coordinación de todos nuestros movimientos". Para eliminar cualquier falsa expectativa, advierte Filippi, "hay que decir que el tratamiento no puede hacer milagros ni sustituir a la rehabilitación tradicional. La VMr abre nuevas e importantes puertas a la fisioterapia, que debe intervenir de forma especializada y adaptada a cada paciente".

"Mejorar la función de zonas específicas del cerebro significa mejorar el rendimiento de esos motores nuestros que son los músculos en términos de fuerza, resistencia a la fatiga y coordinación. En concreto, una mala coordinación se expresa en espasticidad, desgarros musculares, mal funcionamiento de las articulaciones, y de ahí vienen el dolor, la artritis y la artrosis. Así que actuar sobre la coordinación significa actuar sobre la calidad de vida", explica el fisiólogo Filippi.

La vibración rMN tiene unos parámetros estrictos: la aplicación de la microvibración 3 veces al día, 10 minutos cada vez, durante 3 días consecutivos a los músculos individuales sobre los que se desea actuar, incluyendo una frecuencia de 100 ciclos por segundo. El aparato permite producir esta vibración y, sobre todo, hacerla llegar a los músculos tal cual, sin distorsiones excesivas.

Esta vibración localizada de músculos individuales -añade Filippi- es un estímulo suave pero potente para los cientos de sensores nerviosos de los músculos. Estos "leen" los 100 ciclos por segundo y los envían a los centros nerviosos que controlan el músculo tratado. La frecuencia utilizada constituye un "código" para estos, cuyo efecto es un refuerzo de las redes de control sistema nervioso. El Sistema Nervioso Central se vuelve "para controlar y coordinar los músculos".

37

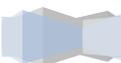


BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Mountcastle V.B., Rose J.: Tacto y cinestesia en neurofisiología. En: Magoun H.W.. (Ed). Handbook of Physiology. Sociedad Americana de Fisiología. Vol 1: 387-430, 1959.
- ² Hagbarth K.E.: El efecto de la vibración muscular en el hombre normal y en pacientes con enfermedades motoras. En: New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology. Desmet J.E. Ed. pp 428-443. Kargel, Basilea, 1973.
- ³ Johansson R.S., Valbo A.B.: Codificación sensorial táctil en la piel glabra de la mano humana. Trends in Neurosis. 6: 27-32, 1983.
- ⁴ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unthetized mnkeys. Neuronal periodicity and frequency discrimination. J Neurophysiol.32: 452- 484, 1969.
- ⁵ Cosh J.A.: Estudios sobre la naturaleza del sentido de la vibración. Clin Sci. 12: 131-151,1953.
- ⁶ Cauna N., Mannan G.: The structure of human digital Pacinian corpuscles and its functional significance. J Anat (Londres). 92: 1-20, 1958.
- ⁷ La Motte R.H., Mountcastle V.B.: Capacities of humans and monkeys to discriminate between vibratory stimuli of different frequency and amplitude: a correlation between neural events and psychophysical events. J Neurophysiol. 38:593-559, 1975.
- ⁸ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unthetized mnkeys. Neuronal periodicity and frequency discrimination. J Neurophysiol.32: 452- 484, 1969.
- ⁹ Loewenstein W.R., Skalak R.: Transmisión mecánica en un Pacinian corpuscle. An analysis and a theory. J Physio. 182: 346-37, 1966.
- ¹⁰ Rosenkranz K, Rothwell JC. J Physiol 2003; 551.2:649-660; **Rosenkranz K, Rothwell JC.** J Physiol 2004; 561:307-320.
- ¹¹ Efectos de la estimulación propioceptiva mecánica en mujeres osteoporóticas postmenopáusicas. Congreso Nacional SINFER 21-23 Septiembre 2004 CHIETI; Efecto de la activación propioceptiva vibratoria en la postura de pacientes tras reconstrucción de LCA. Assisi 8th Intern. Orthopaedics, Biomechanics, Sport Rehabilitation Nov 19-21 2004; Persistence des effets de la stimulation mécanique sur le contrôle et l'efficacité musculaire. 35° Congres National S.F.M.K.S 3-4-5 Juin 2005 saint-Tropez - France; Treatment with vibratory energy in patients with infantile cerebral palsy SIMFER Catania 2005.
- ¹² Luu Y. K., Pessin J. E., Judex S., Rubin J., Rubin T.C. - Mechanical signals as a non-invasive means to influence mesenchymal stem cell fate, promoting bone and suppressing the fat phenotype. IBMS Bone KEY 6(4):132-149, 2009.
- ¹³ Bosco C., Colli R., Intorini E., Cardinale M., Tsarpela O., Madella A., Tihanyi J., Viru A. - Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. Clinical Physiology 19.2:183-187, 1999.
- ¹⁴ Gian Nicola Bisciotti - Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Lyon (Francia); Escuela Universitaria Interfacultad de Ciencias del Deporte de Turín (Italia); entrenador de atletismo del F.C. Internazionale (Italia) - "La aplicación de las vibraciones en la medicina de rehabilitación (Nueva Investigación Atlética en Ciencias del Deporte) 2007
- ¹⁵ G.M. Filippi, F. Camerota, V.M. Saraceni - Artículo "Vibraciones mecánicas y rehabilitación motora. Una nueva oportunidad" - Sci Riabilitaz 2007; 8(2): 55-61.
- ¹⁶ Bianconi R. y van der Meulen J. J. Neurophysiol. 1963; 26:177-90; . Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. J. Physiol. 1967;192;773-800; Matthews PBC. Edward Arnold, Londres; 1972.



-
- ¹⁷ Rosenkranz K, Rothwell JC *J Physiol* 2003;551: 649-660; Rosenkranz K, Rothwell JC. *J Physiol*. 2004;561: 307-320.
- ¹⁸ Rosenkranz K, Rothwell JC. *J Physiol*. 2004;561:307-320
- ¹⁹ Heath CJ, Hore J & Phillips CG.. *J Physiol* 1976;257:199-227; Hore J, Preston JB & Cheney PD. *J Neurophysiol* 1976;39:484-500; Jones EG & Porter R. *Brain Res Rev*, 1980;203:1-43
- ²⁰ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ²¹ Brunetti O, Filippi GM, Liti A, Panichi R, Roscini M, Pettorossi VE. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1180-1187;
- ²² Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- ²³ Litta-Modignani R, Blivaiss Bb, Magid Eb, Priede I. *Aerosp Med*. 1964;35:662-7.
- ²⁴ Matthews PBC. Edward Arnold, Londres; 1972
- ²⁵ Jami L, Petit J. *Exp Brain Res*. 1976 Mar 15;24(5):485-93
- ²⁶ Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. *J Physiol*. 1967;192;773-800.
- ²⁷ R. y van der Meulen J. *J Neurophysiol*. 1963; 26:177-90; Matthews PBC. Edward Arnold, Londres; 1972.
- ²⁸ Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87
- ²⁹ Marconi B, Filippi GM, Koch G, Pecchioli C, Salerno S, Don R, Camerota F, Saraceni VM, Caltagirone C. *J Neurol Sci* 2008;275:51-59
- ³⁰ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ³¹ Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- ³² Runge M., Rehfeld G., Resnicek E. - Entrenamiento del equilibrio y ejercicio en pacientes geriátricos. *J Musculoskel Interact* 1: 54-58, 2000.
- ³³ Cormie P, Deane RS, Triplett NT, McBride JM - Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res*. 2006 May;20(2):257-61.
- ³⁴ Bisciotti G. N. - Aspectos neurofisiológicos y aplicaciones del entrenamiento vibratorio, Ph. D. Centro de Investigación para la Innovación Científica de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad Claude Bernard de Lyon (F), 2005.
- ³⁵ Chestnut C.H. - Masa ósea y ejercicio (revisión). *Amer J of Med* 95(5A):345-365, 1993.
- ³⁶ Gutin B., Kasper M.J. - ¿Puede el ejercicio vigoroso desempeñar un papel en la prevención de la osteoporosis? (revisión). *Osteop Int* 2:55-69, 1992.
- ³⁷ Hortobágyi T, del Olmo MF, Rothwell JC *Exp Brain Res* 2006;171:22-329
- ³⁸ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ³⁹ Bisciotti G. N. - Actividad física y osteoporosis, *New Athletic Research in Science Sport*.195, 2006
- ⁴⁰ Foti C., Annino G., D'Ottavio S., Masala S., Sensi F., Tarpela O., Tranquilli C., Bosco C. - The effect of low frequency high-magnitude whole body vibration in physically active osteoporotic women: a pilot study. *Med Sport*, 2008.
- ⁴¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling an pain induced by intraneural electrical stimulation. *Pain*. 18: 239-28, 1984.
- ⁴² Ottoson D., Ekblom A., Hansson P.: Estímulo vibratorio para el alivio del dolor de origen dental. *Pain*. 10: 36-45, 1981.



-
- ⁴³ Procacci P., Maresca M.: Traitements de la douleur par les stimulations périphériques. En: Abdelmoumène M., Cambier J., Ctchlove R., Cosyns P., Jacob M., Maresca M., Meyerson B.A., Michaud G. Procacci P.: La douleur. Masson (Eds), París. 59-70, 1979.
- ⁴⁴ Lunderberg T., Ottoson D., Hakansson S., Meyersson B.A.: Estimulación vibratoria para el control del dolor orofacial crónico intratable. En: Bonica J.J., Lindbloom U., Iggo A.: Advances in pain research ant therapy. Vol 5. Raven Press (Eds). New York. 555-561, 1983.
- ⁴⁵ Lunderberg T.: The pain suppressive effect of vibratory stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as compared to aspirin. Brain Res. 284: 201-209, 1984.
- ⁴⁶ Lunderberg T., Abrahamsson P., Bonesson L., Haker E.: Vibratory stimulation compared to placebo in alleviation of pain. Scand J Rehab Med. 19: 153-158, 1987.
- ⁴⁷ Lunderberg T., Nordemar T., Ottoson D.: Alivio del dolor mediante estimulación vibratoria. Pain. 20: 25-44, 1984.
- ⁴⁸ Casale R., Giordan A., Tiengo M.: Respuestas reflejas nociceptivas espinales. Variación de la respuesta refleja nociceptiva. Rall y dolor lumbosciatalgico inducido por TENS y vibración. Minerva Anest. 51: 217-229, 1985.
- ⁴⁹ Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. En: Tiengo M et al. Advances in pain research ant therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), Nueva York. 77-83, 1987.
- ⁵⁰ Kemppainen P.: Modification of human dentalpain threshold by conditioningvibrotactile stimulation at ight frequency. Arch Oral Biol. 10: 959-962, 1983.
- ⁵¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling an pain induced by intraneural electrical stimulation. Pain. 18: 239-28, 1984.
- ⁵² Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. En: Tiengo M et al. Advances in pain research ant therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), Nueva York. 77-83, 1987.
- ⁵³ Policlinico Gemelli, Aricolo publicado el 15 de diciembre de 2008 en Paginemediche.it noticias

