
LA APLICACIÓN DE LAS
VIBRACIONES
EN EL CUERPO HUMANO

Información científica

VIBRACIÓN MECÁNICA - Libro científico editado por Andromeda S.r.l.

1. Qué es la vibración5

2. Neurofisiología de la percepción vibratoria: receptores en el cuerpo humano7

3. Clasificación de las vibraciones9

3.1. Diferencia entre vibración y electroestimulación9

4. La vibración mecánica como forma de estimulación propioceptiva10

5. Evolución en los estudios de las vibraciones mecánicas aplicadas al cuerpo13

humano

5.1. FV: La ruta científica15

5.1.1. Vibración mecánica focal (VF) y receptores nerviosos16
musculotendinoso

5.2. MFV: Estructura diseñada para crear efectos positivos inducidos por múltiples vibraciones18

mecánica focal

6 Un nuevo protocolo para aplicar la vibración al cuerpo humano: 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 articular20

6.2 Correlatos neurofisiológicos

21



7 Efectos positivos de las vibraciones en el cuerpo humano	24
os	
7.1 Efectos en 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 las vibraciones mecánicas por35

Universidades italianas: informe del Congreso del 13 de diciembre de 2008 publicado en 'Paginemediche.it'- Unas simples vibraciones mecánicas repetidas aumentan la función cerebral, mejorando el control de las articulaciones musculares.

Bibliografía38



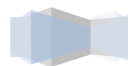
INTRODUCCIÓN

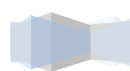
Todo en el universo vibra. El ser humano también se ve afectado por esta realidad, que se manifiesta fuera y dentro de él. La vibración es una fuerza vital. En lo que respecta al hombre, las vibraciones deben dividirse en dos ámbitos fundamentales: las vibraciones beneficiosas y las vibraciones perjudiciales.

En la infinita gama de vibraciones, la percepción humana 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 nuestras propias células y órganos. Las tensiones de la vida y las vibraciones resultantes tienen una influencia tangible en el estado de bienestar y la salud. Las tensiones negativas incluyen, por ejemplo, el estrés (introcepción) y el ruido (exterocepción).

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

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





Capítulo 1

QUÉ ES LA VIBRACIÓN

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

El número de ciclos completos completados por unidad de tiempo, es decir, por segundo, se llama frecuencia. La frecuencia se mide en Hertz (Hz). El hertzio define cuántas oscilaciones (vibraciones) se producen en un segundo. Lo que nos preocupa es la vibración mecánica.

La expresión "vibración mecánica" se refiere en particular a una oscilación mecánica en torno a un punto de equilibrio. También hay que dejar claro que términos recientemente introducidos como **"energía vibratoria" no tienen ningún significado científico.**

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



Si observamos un objeto durante el movimiento vibratorio (figura anterior), podemos observar movimientos periódicos; el tiempo entre dos pasadas de un punto por la posición de referencia (equilibrio o posición inicial) se llama período (o ciclo) [s].

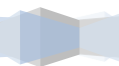
La magnitud de las oscilaciones se llama amplitud. El número de oscilaciones por unidad de tiempo es la frecuencia.

Todos los días, el cuerpo humano está sometido, consciente o inconscientemente, a vibraciones de distinto tipo, 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 en el organismo.



en el cuerpo humano, según el tipo de oscilación y la duración de la exposición a la que se somete el cuerpo. Los factores **fundamentales son la amplitud de la superficie de contacto con el objeto vibrante, la frecuencia de la vibración, la amplitud (potencia de la 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 expuesto, que causan diversos efectos en los tejidos y órganos antes de ser atenuados.

El cuerpo humano, como cualquier otra máquina, sólo puede tolerar ciertos niveles de energía (ondas de choque) de vibración, más allá de los cuales, como consecuencia, comienza 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 hace que cada zona del cuerpo amplifique o atenúe las vibraciones de entrada según su propia frecuencia de resonancia.

La 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, se asocia a un mayor riesgo de lesiones vasculares, neurológicas y musculoesqueléticas del 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 ello, implica estructuras receptoras sensibles a los estímulos mecánicos, es decir, mecanorreceptores (Mouncastle y Rose, 1959 ¹). **Los mecanorreceptores son microestructuras con diversas funciones que reciben señales vibratorias de diferentes partes del cuerpo.**

Desde el punto de vista anatómico-estructural, los mecanorreceptores tienen tanto fibras mielinizadas de distinto calibre como fibras amielinizadas, y se encuentran en distintos tipos **de tejidos, como la piel, el tejido muscular, el periostio, las cápsulas y los ligamentos articulares.** En concreto, los **mecanorreceptores musculares participan en los fenómenos de respuesta refleja tras el estiramiento de la unidad músculo-tendinosa.**

Estos tipos de mecanorreceptores constituyen estructuras muy especializadas y se denominan "terminaciones anuloespirales" de los husos neuromusculares. Desde el punto de vista funcional están conectadas a las fibras mielinizadas pertenecientes al grupo Ia de Lloyd; estas últimas muestran una alta velocidad de conducción de unos 100 m/s-1 y responden selectivamente a estímulos vibratorios con frecuencias de 90 a 150 Hz (Hagbarth, 1973 ²).

Además, **se pueden identificar otros cuatro tipos de mecanorreceptores en la piel humana mediante técnicas microneurográficas, que pueden clasificarse según la adaptación y el tamaño del campo receptor (Johansson y Valbo, 1983 ³).** Sin embargo, **no todos los cuatro tipos de receptores identificados son sensibles a la percepción vibratoria,** e incluso aquellos que son receptivos al estímulo vibratorio muestran **diferencias en la respuesta dictada por la frecuencia del propio estímulo vibratorio** (Mountcastle et al., 1969 ⁴).

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

Las tres clases de mecanorreceptores así identificadas son:



- **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 de percepción vibratoria, antes y después de la anestesia cutánea, demostraron que el umbral receptor de la sensibilidad vibratoria **está** localizado **subcutáneamente**. Por ello, **los corpúsculos de Pacini** pueden considerarse a todos los efectos **como los mecanorreceptores más implicados en la percepción vibratoria**. Para confirmar esta hipótesis, cabe señalar que en el individuo de edad avanzada 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 **en la dermis**, los que desempeñan el **papel más importante en la percepción vibratoria** son **los corpúsculos de Meissner**, que, sin embargo, muestran un tipo de activación selectiva para los estímulos **vibratorios de baja frecuencia**, entre **5 y 40 Hz** (La Motte y Mountcastle, 1975 ⁷). A este respecto, conviene recordar que la **sensación psicofísica en el nivel liminar percibe las vibraciones de baja frecuencia, en torno a un valor de 40 Hz, como una sensación de temblor**, definida también con el término "**flutter**" (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, la percepción del efecto de **aleteo** puede atribuirse razonablemente a los corpúsculos de Meissner, cuya recepción óptima se encuentra en el rango entre 5 y 40 Hz, mientras que la percepción del estímulo vibratorio es esencialmente atribuible a los corpúsculos de Pacini, que tienen una frecuencia vibratoria óptima de alrededor de 100 Hz, aunque su rango receptivo se encuentra realmente entre 90 y 600 Hz (Loewenstein y Skalak, 1966 ⁹).



Capítulo 3 CLASIFICACIÓN

DE LAS VIBRACIONES

Las vibraciones pueden clasificarse según varios parámetros.

Además de la frecuencia, las vibraciones 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 los seres humanos sienten la variación de un estímulo más que su duración.

Para obtener el máximo efecto beneficioso, es necesario 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 postura), el estado psicológico y los factores ambientales.

Por lo tanto, es necesario considerar el punto de aplicación de la vibración. Por ello, las vibraciones pueden dividirse en:

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

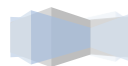
3.1 DIFERENCIA ENTRE ELECTROESTIMULACIÓN Y VIBRACIÓN

La electroestimulación parece ser beneficiosa en el periodo postraumático, en el postoperatorio o como masaje para reactivar la función inicial o para el uso de corrientes analgésicas como el TENS.

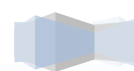
No estamos hablando de beneficios relacionados con el rendimiento y la función biomecánica adecuada.

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

Mientras que la vibración mecánica activa todo el sistema muscular a través de la ⁹ el sistema propioceptivo, el electroestimulador obtiene únicamente la contracción de los músculos agonistas, con la consiguiente ausencia 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 algunas funciones motoras y/o conductuales en los gatos (paradigmas de condicionamiento neuronal asociativo, por la 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 cientos 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 este conjunto de 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 algunos 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 Motrices, 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 propioceptivo.**

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

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



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

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 de 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) sugiere que el **tratamiento puede haber modificado el análisis de la información propioceptiva. La persistencia de los efectos sugiere finalmente la inducción efectiva de modificaciones plásticas del circuito propioceptivo.** Nunca se han observado efectos secundarios.

Se trata de una forma completamente nueva de "reprogramar" (casi una especie de "actualización" informática) **las redes nerviosas que controlan los músculos.** Esta nueva frontera del entrenamiento (en el deporte, pero también en la 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% menores que las de los velocistas actuales, pero sus tiempos eran muy difíciles de superar. Eran máquinas musculares mucho más eficaces que las actuales. La razón de ello es conocida desde hace tiempo por los neurofisiólogos: sus sistemas nerviosos eran capaces de gestionar sus músculos de forma óptima, su entrenamiento se centraba en la fluidez del rendimiento para lograr la máxima eficiencia.

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

obtener más potencia,¹¹
pero el rendimiento es cada vez menor.



Por lo 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 procesamiento de secuencias de señales de vibración mecánica, para obtener formas de Potenciación a Largo Plazo (LTP) sobre funciones nerviosas específicas. Con 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).

Es notable que este nuevo sistema no sólo produce efectos impresionantes en términos de tamaño, sino que también es la antítesis del dopaje. Esto último empuja al sujeto más allá de sus posibilidades y le lleva a gastar mucha más energía de la que el cuerpo está dispuesto a hacer. Por otro lado, reforzar el control motor significa optimizar el gesto atlético, ahorrando energía en cada movimiento, y por tanto permitiendo un mayor número de movimientos con el mismo gasto energético.

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



Capítulo 5

EVOLUCIÓN EN LOS ESTUDIOS DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS APLICADAS AL CUERPO HUMANO

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

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

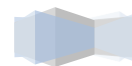
Un estudio experimental posterior (Hettinger, 1956) demostró que **las vibraciones con una frecuencia de 50 Hz y una aceleración de 10 g eran capaces de aumentar el área de la sección muscular y reducir el tejido graso dentro del músculo.**

En el ámbito puramente terapéutico, casi cuarenta años más tarde, Schiessl (1997) patentó el uso de una máquina capaz de generar oscilaciones rotacionales, mientras que en el mismo periodo Fritton et al. (1997) desarrollaron una máquina basada en oscilaciones traslacionales (técnica posteriormente abandonada por sus pobres resultados). En ambos casos, el campo de aplicación de estos dispositivos era tratar de obtener una **estimulación del crecimiento óseo, gracias a frecuencias específicas que podríamos definir con el término "osteogénico".**

Un año después, el trabajo experimental de **Fliieger et al. (1998) demostró que había un aumento de la proliferación ósea en los animales sometidos a vibración.**

Desde 1994, el profesor C. Rubin ha centrado sus estudios en la comprensión de los mecanismos celulares responsables del crecimiento, la **curación y la homeostasis de los huesos y, en particular, en cómo los estímulos biofísicos (mecánicos y de otro tipo) median en estas respuestas**¹². Los resultados de sus trabajos demuestran que estos estímulos inducen una **inhibición de la osteopenia**, el fomento del recrecimiento óseo en prótesis o defectos esqueléticos, y también una **curación más rápida de los defectos óseos. fracturas.**

Sin embargo, hasta 1987, todos los estudios sobre las vibraciones mecánicas se centraban en los efectos sobre el sistema óseo, es decir, en el tratamiento de la osteoporosis y la recuperación de los traumatismos,



descalcificación ósea, degeneración ósea y disminución de la calcificación en los astronautas. Hasta finales de los años 80 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 comenzaron a analizarse también desde el punto de vista muscular.

Los rusos Nazarov y Spirav trabajaron 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 los años noventa, los estadounidenses no podían permanecer en el espacio más de 120 días y siempre tenían graves problemas musculares y óseos, mientras que los astronautas rusos consiguieron batir un récord tras otro al mantener 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 **profesor Carmelo Bosco, uno de los mayores exponentes del estudio de la respuesta del cuerpo humano a las vibraciones mecánicas**. Desarrolló un método de entrenamiento (AV - Allenamiento Vibratorio) capaz de mejorar la potencia, la resistencia y la velocidad del sujeto examinado, mediante la 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.

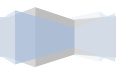
En 2007, un artículo coordinado por la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Lyon (Francia) y la Escuela Interfacultativa de Ciencias del Deporte de Turín apareció en la revista "New athletic Research in Science Sport" (Bisciotti, 2007).¹⁴ El artículo dice:

"Los efectos de la administración controlada de vibraciones en el cuerpo humano se conocen desde 1949, fecha del primer trabajo científico en este campo específico. Sin embargo, no fue hasta cuarenta años después cuando se reconoció científicamente el valor terapéutico de las vibraciones en cuanto a su efecto osteogénico, lo que justifica su aplicación en la medicina geriátrica en general y en algunas 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, aunque poco conocido, de las vibraciones es la rehabilitación funcional. El objetivo de este trabajo es ilustrar los principios neurofisiológicos del trabajo con vibraciones".

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



cuerpo:



1. El primero es capaz de estimular poderosa y selectivamente ciertos tipos de receptores nerviosos implicados en el control motor. Por lo tanto, se limita a un solo músculo o a pequeños grupos de músculos adyacentes, por lo que se define como **vibración focal (VF)**;
2. La segunda forma implica a todo el cuerpo. Se aplica con una postura en completa descarga funcional, con las articulaciones en decoaptación. Se aplica en puntos precisos, con frecuencias específicas. Esta aplicación, con una irradiación limitada y en puntos simétricos, no genera ni propaga frecuencias armónicas bajas, que son perjudiciales para las estructuras del cuerpo humano, sino que sólo implica la estimulación de los mecanorreceptores de la piel. Esta forma se denomina **vibración multifocal (Keope MFV)**.

5.1 VIBRACIÓN FOCAL (FV): LA VÍA CIENTÍFICA

PV permite un uso muy preciso del estímulo vibracional. Se utiliza ampliamente en la investigación para activar el sistema propioceptivo de músculos o articulaciones individuales. Hace tiempo que se intenta utilizarla con fines terapéuticos, ya que es bien conocida su acción sobre los husos neuromusculares¹⁵.

Mientras que la plataforma vibratoria tiene una difusión masiva a lo largo del cuerpo, determinada por una única fuente situada en la zona plantar, el PV y el MFV, al quedar confinados en zonas pequeñas, evitan el fenómeno típico de la propagación de las 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 PV, y también con la MFV, sabemos 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 PV que pueden modificar persistentemente el control motor. En particular, la investigación ha destacado **tres aspectos relevantes**:

1. Como ya ha sido ampliamente documentado por muchos autores¹⁶, la frecuencia de la vibración debe ser una señal "pura", formada por un solo armónico, es decir, una sola frecuencia, capaz de dar lugar a un fenómeno de "conducción";
2. los efectos sólo persisten si se aplica una frecuencia pura entre 90 y 120 Hz ¹⁷ (con respecto a la estimulación del tono muscular);
3. Los efectos persisten si la estimulación se mantiene durante al menos 10 minutos ¹⁸. Además, la PV y la MFV son capaces de modificar la excitabilidad cortical en el área ¹⁵ accionamiento primario, tanto durante la vibración como tras el final de la misma

19. Por ello, algunos grupos de investigación han abordado el problema de forma sistemática,



para 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 los tendones tienen 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 (GTO).

La primera, mediante las fibras sensitivas denominadas convencionalmente Ia (primarias, con una velocidad de conducción entre 72 y 120 m/s) y II (secundarias, con una velocidad de conducción entre 24 y 72 m/s), tendría 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 destinadas a 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 adecuadas, era capaz de activar selectivamente las aferencias del huso primario (Ia) y secundario (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 se reveló otro aspecto de extraordinaria importancia para la investigación: **debido a ciertas características de frecuencia y amplitud de la vibración aplicada, estos receptores generan frecuencias de potenciales de acción fieles a la frecuencia de la vibración aplicada, guiando a las aferentes activadas a una frecuencia de descarga idéntica a la de la estimulación (el fenómeno de "conducción")**.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 las frecuencias y amplitudes de vibración adecuadas, es posible seleccionar el16 aferentes activados y determinan la frecuencia de los potenciales de acción enviados al



sistema nervioso central.



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





5.2 VIBRACIÓN MULTIFOCAL (KEOPE MFV)

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

Desde 1991, el Centro de Investigación del Comportamiento Humano (Centro A.M. di Sirtori - LC) trabaja en la 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 sola masa con una única frecuencia natural, sino que cada masa, es decir, cada parte del mismo, tiene su propia frecuencia de resonancia específica, por lo que **la aplicación de las vibraciones no puede realizarse partiendo de un solo punto del cuerpo y propagando luego los efectos al resto del mismo**. Esto no sólo no produce los resultados deseados, sino que también tiene efectos negativos en todo el cuerpo.

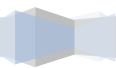
Lo óptimo se consigue localizando las vibraciones en zonas concretas del cuerpo, de forma muy precisa, para focalizar el efecto de la vibración en la zona deseada, donde luego hay que aplicar las vibraciones, evitando dispersiones innecesarias. Como se explicó en el capítulo anterior, este es el elemento 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 la **vibración mecánica a frecuencias específicas**, aplicada a **zonas concretas del cuerpo**, correspondientes a inserciones precisas de las cadenas musculares; **zonas que implican a todo el sistema musculoesquelético**.

Esto fue posible gracias a un invento anterior: Keope, la única estructura ergonómica esencial que permite al cuerpo humano adoptar **una postura de completa descarga funcional**. Esta estructura minimiza el contacto con el cuerpo, eliminando así la compresión innecesaria 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 la columna vertebral y las grandes articulaciones**.

La acción de varios microvibradores en zonas concretas con frecuencias específicas permite maximizar los efectos beneficiosos de la vibración demostrados por las numerosas investigaciones científicas de los últimos años.





Capítulo 6

UN PROTOCOLO PARA APLICAR LA VIBRACIÓN AL CUERPO HUMANO

Como hemos señalado en los capítulos anteriores, se sabe desde hace más de 40 años que la vibración mecánica localizada en los músculos individuales es capaz de activar poderosamente los propioceptores musculotendinosos. Dado que este estímulo es completamente indoloro y no invasivo, durante estos años se han hecho muchos intentos de utilizar este procedimiento para mejorar el control motor. Sin embargo, las mejoras, cuando estaban presentes, desaparecían unos instantes después del final de 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 espacios nuevos e 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 el trabajo 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 realizaron una serie de experimentos.

Los resultados mostraron que la exposición a esta 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 una vibración de 30 minutos de forma continua, sin siquiera un breve intervalo, reduce notablemente los efectos, probablemente debido al fenómeno de habituación. Debido a esta exposición repetitiva a las vibraciones, 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 la 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 PERSONAS SANAS SOBRE EL POTENCIAL DE LA VMR: la acción de la VMR en el control de la rigidez articular

Un estudio doble ciego, decisivo para definir los efectos y comprender los mecanismos de acción de este particular sistema integrado, compuesto por un protocolo y un dispositivo "ad hoc", se llevó a cabo en sujetos sanos²⁸, aplicando la rMV en el músculo cuádriceps.

El estudio sugería 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 marcado aumento (+40%) de la resistencia a la fatiga en los ejercicios repetidos (movimientos de extensión de piernas bajo carga).

Este aumento se atribuyó a una mejora en el 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 máxima de la contracción isométrica (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, el protocolo desarrollado presentó algunos efectos completamente novedosos y sugirió 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 el control motor, aumentando el control articular y, en particular, el control de la rigidez articular.

Las innovaciones introducidas por este estudio fueron realmente notables. De hecho, este primer estudio esbozó un sistema integrado consistente en un protocolo y una instrumentación especial capaz de inducir efectos sobre el control motor que duran al menos 15 días y de gran intensidad en sólo 90 minutos.

Además, el mecanismo de acción parecía residir en una modificación del control de la rigidez articular, por tanto en una acción directa sobre el sistema nervioso central y sobre un parámetro: la **rigidez articular**. La rigidez de las juntas es uno de los parámetros más complejos y²⁰ determinantes en el control motor. En particular, el control de la rigidez articular es el quid de la rehabilitación motora, y se gestiona por completo fuera 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, como la espasticidad o la hipotonía muscular (excesos y déficits de rigidez articular, respectivamente), y las consecuencias que éstas tienen en los déficits motores, en la calidad de vida y en el obstáculo que suponen para el dúo terapeuta-paciente en la consecución de 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 en el de un aumento.

6.2 CORRELATOS NEUROFISIOLÓGICOS

Ambos estudios descritos anteriormente sugieren que **la rMV** es 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 la búsqueda de 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 durante el curso del acto motor. Las **modificaciones plásticas del sistema nervioso debían buscarse "aguas arriba" en el sistema nervioso central. Por lo tanto, la atención se dirigió a la corteza motora primaria (M1).**

Mediante una técnica no invasiva y relativamente sencilla, la estimulación magnética transcraneal (EMT), se pueden estimular microáreas de esta región. Las células piramidales activadas, a su vez, activan las poblaciones motoras de la columna vertebral y la señal eléctrica muscular evocada (Potencial Evocado Magnético, MEP) por dicha estimulación cortical puede registrarse mediante EMG de superficie. Así, es posible estudiar la extensión cortical de las áreas implicadas en el control de determinados músculos, su nivel de excitabilidad y, mediante procedimientos algo más complejos, los mecanismos de control que ejercen los circuitos corticales sobre esas mismas áreas.

Para este estudio, realizado por Barbara Marconi ²⁹, investigadora de la Fondazione S. Lucia y de la Fundación EBRI, junto con otros colaboradores, aplicaron la rMV en el músculo

Flexor radial del carpo en sujetos sanos.



La aplicación de la EMT demostró que el tratamiento con rMV estimuló los 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) fueron facilitadas. **Los efectos sólo se produjeron en la combinación de contracción muscular voluntaria + vibración** y persistieron durante al menos 15 días, con una vuelta a la situación anterior a la VMR a los 30 días de tratamiento.

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

Desde el 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 a utilizar durante el movimiento, reduciendo las contracciones no deseadas o, en un sentido más general, las cocontracciones no deseadas. Este mecanismo se ve acentuado, naturalmente, por los procesos de inhibición cortical recíproca, por los que la activación de un grupo muscular inhibe al antagonista y viceversa. Por lo tanto, el tratamiento con rMV parece ser capaz de activar estos dos mecanismos, que, funcionalmente, se cree que contribuyen a la regulación de las cocontracciones.

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

Las cocontracciones son cruciales para regular la rigidez articular, pero al mismo tiempo provocan un mayor gasto energético y metabólico, una menor eficiencia muscular, una mayor fatiga y una menor velocidad de ejecución. Por lo tanto, **los** resultados del estudio con EMT parecían ser coherentes con lo que se había hipotetizado en estudios anteriores^{30 31}: **la VMr parece ser capaz de mejorar 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 cocontracciones y una mejor gestión de los agonistas/antagonistas 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.

El perfeccionamiento de las co-contracciones, por una parte indispensable y por otra un obstáculo para la ejecución motriz, es muy difícil, al igual que el control conjunto en un sentido más amplio.

Son ajustes que escapan a nuestro control y dependen²² totalmente por la acción del sistema nervioso central. Por lo tanto, cualquier intervención sobre ellos sólo es muy indirecta y, por lo tanto, extremadamente lenta y agotadora, como



demuestran las características del entrenamiento deportivo y la rehabilitación motriz. **El rMV, sobre la base de estos**

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

En el estudio de Marconi la situación volvió a ser la de antes de la VMR en 30 días, mientras que los sujetos con reconstrucción del LCA, seguidos hasta 120 días después del tratamiento, sin repetirlo, siguieron aumentando su rendimiento. Estas diferencias se deben probablemente a la falta de posibilidad de consolidación de los efectos plásticos en el caso del tratamiento del flexor radial del carpo en sujetos sanos en comparación con los pacientes con reconstrucción del LCA. En el primero, de hecho, después del tratamiento con rMV, el grupo muscular tratado siguió utilizándose como antes del tratamiento. En este último caso, la rehabilitación estimuló aún más el control de la rodilla. Así pues, la situación neuromotora del flexor del carpo se devolvió 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 del uso de la VMR como en lo que se sabe de la neurofisiología.

Para resumir, algunos puntos parecen relevantes en los diversos estudios de investigación sobre la VMr:

- ✓ **La rMV es un protocolo no invasivo, basado en una vibración de amplitud particularmente baja.** La estimulación parece ser totalmente tolerable **a partir de los 4 años**, es fácil de aplicar, aunque se basa en un conjunto de normas muy estrictas. Asimismo, los parámetros de la 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 RVM no es separable de la rehabilitación, sólo es un procedimiento que pretende abrir nuevas puertas a la rehabilitación al mejorar, mediante una acción directa sobre el sistema nervioso central, el control de la rigidez articular. La rehabilitación específica y orientada debe aprovechar al máximo los logros alcanzados. El tratamiento posterior de un paciente con rMV debe definirse junto con los terapeutas o, mejor aún, ser aplicado por los propios terapeutas de acuerdo con el concepto terapéutico.
- ✓ La rMV está demostrando lo que la rehabilitación lleva diciendo desde hace tiempo, es decir, que la cronicidad no significa el fin de las mejoras. Resultados importantes, a menudo mostradas en vídeo en las conferencias se obtuvieron más de 10 años después de la lesión.

- ✓ El rMV para la fisioterapia se presenta como una **oportunidad para entrar en áreas que hoy están casi abandonadas: los mayores de 80 años**, las lesiones neurológicas crónicas.



Capítulo 7

EFFECTOS POSITIVOS DE LA VIBRACIÓN EN EL CUERPO HUMANO

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

La "sobrecarga" constante (el movimiento del cuerpo) proporciona un estímulo biológico a través de factores estructurales y metabólicos, manteniendo los tejidos, tanto óseos como musculares, dentro de un límite funcional seguro. El reposo prolongado en cama o la inmovilización debida a una lesión pueden debilitar las estructuras hasta el punto de limitar su función. Algunas enfermedades comunes, como la osteoporosis o la miositis, reducen la calidad y la cantidad de las estructuras óseas y musculares, y la degeneración asociada se manifiesta en síntomas clínicos. Cuando se reducen drásticamente las cargas diarias a sostener, 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 en las fibras lentas. Esta es la principal causa de la disfunción y la disminución de la fuerza tanto de los huesos como de los músculos con la llegada de la vejez.

Se ha demostrado que el ejercicio de corta duración, pero de muy alta intensidad, produce efectos positivos en las estructuras óseas 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, los seres humanos son normalmente sedentarios, especialmente en la vejez. Y, a menudo, su actividad física se reduce a la simple locomoción para las funciones diarias normales. **La locomoción humana diaria es el estímulo mecánico mínimo que garantiza el tono muscular básico. Por eso se recomienda que las personas mayores caminen mucho.** Este estímulo, generalmente necesario para superar la fuerza de la gravedad, **apenas es suficiente para proteger los huesos de las fracturas.** De hecho, durante la locomoción, al impactar con el suelo, se genera un tren de 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 de los huesos durante la vida humana. Por desgracia, **la comprensión moderna de**

de vitalidad aumenta

fuertemente

actividad de movimiento, con un fuerte aumento24

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



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

Las investigaciones han demostrado que la vibración mecánica es un poderoso estímulo para todo el organismo, especialmente para los sistemas neuro-muscular y óseo. A continuación se resumen los principales efectos positivos de las vibraciones mecánicas que se han encontrado en la investigación científica de los últimos 40 años.

7.1 LOS EFECTOS DE LA VIBRACIÓN EN EL SISTEMA HORMONAL

Como se sabe desde hace tiempo, existe una relación entre el deporte practicado y el perfil hormonal del deportista. De hecho, 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 de la **hormona del crecimiento (GH)**, al mismo tiempo que una **disminución de la concentración de cortisol (C)**. **El aumento de la T y la GH se debe a la acción de los metarreceptores musculares**, mientras que la disminución de la C se debe probablemente a un efecto estimulante 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 se acompaña también 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 de forma independiente, pueden tener mecanismos 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, y también desempeña un papel importante en la hemostasia, estimulando la reparación de los vasos lesionados.



La vibración también estimula la **producción de neurotrofinas**, una familia de proteínas, entre ellas 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 los efectos analgésicos y conductuales de la morfina (acción similar a la de la morfina), también **son fuertemente estimuladas por la exposición a las vibraciones**.

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

7.2 LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES EN LOS SISTEMAS MUSCULARES ESQUELÉTICOS

Durante la locomoción, al impactar con el suelo, se genera un tren de ondas que se transmite por 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 asegura 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 periodo prolongado de reposo en cama o a la inmovilización causada por una lesión, las estructuras pueden debilitarse hasta tal punto que sus funciones se ven restringidas y conducen, en particular, a la 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 modo que tanto la masa como la fuerza de los tejidos se mantienen a un nivel elevado, lo que da lugar a una reducción de la pérdida muscular y ósea ³².

Estos cambios en la respuesta neuromuscular son atribuibles principalmente al aumento de la **actividad de los centros motores superiores** y a la mejora sustancial de la



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 muscular **a nivel del complejo músculo-tendinoso sometido a tensión directa**, pero también de los grupos musculares adyacentes.

Este tipo de respuesta del músculo a la estimulación vibratoria 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 en la relación fuerza-velocidad y fuerza-potencia ³³.

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

De hecho, **algunos estudios han propuesto que la RTV opera predominantemente, si no exclusivamente, a través de las neuronas motoras 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 las unidades motoras a través de una activación de los husos neuromusculares y de los patrones de activación** polisináptica³⁴.

7.3 LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES EN EL TEJIDO ÓSEO

El sistema esquelético tiene básicamente tres funciones:

- El primero 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, en cualquier edad biológica, no es una masa inerte sino, por el 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 adecuados en caso de fractura, sin olvidar el papel de reserva en el desarrollo del esqueleto.

calcio

orgánico. 27

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

- osteorexorción, proporcionada por los osteoclastos;



- osteoformación debido a la actividad de los osteoblastos.

La relación entre estos dos fenómenos, fisiológicamente antagónicos entre sí, da lugar al 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 esta razón, una disminución de las exigencias mecánicas del esqueleto puede ser 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, que es fácilmente reversible en los adultos pero en gran medida permanente 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 el punto de vista celular, parece que sólo los osteoblastos están equipados con 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 las fuerzas de compresión es capaz de disminuir la actividad osteoblástica, dejando el proceso de resorción ósea sin cambios.

Las claras mejoras en la función muscular inducidas por la administración de tratamientos vibratorios producen tensiones muy eficaces en las funciones biológicas de los huesos en los que se insertan; 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 de los ejercicios musculares 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 son adecuados para una población de edad avanzada o para personas con fracturas.

La aplicación de vibraciones, por el contrario, permite un intenso estrés sobre el sistema esquelético y muscular sin requerir un alto grado de compromiso por parte del paciente, resultando así una estrategia de intervención especialmente adecuada en determinados casos. Aunque una explicación clara e inequívoca de la

fenómeno, **la acción de las vibraciones mecánicas sobre los mecanismos de** ²⁸

La remodelación ósea es evidente y ha sido reportada en muchos estudios clínicos en pacientes

con fracturas óseas u osteoporosis. En ambos casos, **los sujetos tratados con terapia vibratoria mostraron un aumento 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 decir que es un medio terapéutico de elección en medicina geriátrica en el marco de las terapias para el tratamiento y la 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 aprecia una rarefacción del hueso, un adelgazamiento y reducción numérica de las trabéculas y un aumento de los espacios medulares. Se distingue entre una forma relacionada con la edad y posmenopáusica y una forma secundaria a una inmovilización prolongada o a trastornos endocrinos. En la población femenina en particular, el déficit de estrógenos durante la menopausia provoca una aceleración del recambio óseo y una pérdida de masa ósea, por lo que la osteoporosis afecta a una de cada cuatro mujeres, mientras que en la población masculina la proporción es de una de cada ocho. **La osteoporosis, dado el aumento progresivo de la edad media de la población, ha adquirido actualmente las dimensiones de un verdadero problema socioeconómico, que afecta a la población de edad avanzada (y a otras personas) en todo el mundo.** 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 **especialmente útil tanto para limitar la pérdida de hueso como para estimular el aumento de la masa ósea.** De hecho, la osteoporosis va acompañada de una mayor susceptibilidad a las fracturas.

Precisamente por los efectos que tiene en los pacientes osteoporóticos, la vibración mecánica puede aplicarse también (y sobre todo) con resultados sorprendentes a los pacientes con fracturas de las extremidades superiores e inferiores. De hecho, la vibración induce una aceleración del crecimiento óseo que permite soldar el hueso fracturado en un tiempo mucho más corto de lo normal, con evidentes beneficios clínicos y económicos, en primer lugar para el paciente, pero también para el Servicio Nacional de Salud. Nos gustaría señalar que la incidencia de las fracturas de cadera por simples caídas en la población es tan alta como en Estados Unidos.

ancianos, cifras del orden del 90%, sin tener en cuenta las llamadas fracturas de cadera provocadas²⁹

por la reducción ósea debida únicamente a la osteoporosis, por lo que la vibración es extremadamente importante y útil en este caso 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 desconecta progresivamente de la actividad osteoclástica, induciendo así una cascada de fenómenos fisiológicos que dan lugar a una pérdida más o menos importante de masa ósea.

También es bien sabido que el proceso de envejecimiento conduce a una sedentarización progresiva del estilo de vida del individuo, y también a **diversas enfermedades**, entre ellas (como se ha mencionado anteriormente) la **osteoporosis**.

La capacidad de la VMR para actuar sobre el control de las cocontracciones 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 mal control articular desempeña sin duda un papel importante en la pérdida de estabilidad y la disminución de la fuerza**. La pérdida de estabilidad, en particular, tiene una importancia considerable, ya que **el problema de las caídas supone un enorme coste social**: sólo las **fracturas de fémur** resultantes cuestan más **de mil millones de euros** cada año en costes directos e indirectos, y **más de 16.000 personas mayores de 65 años mueren cada año**. Además, el cuadro de inestabilidad en los ancianos es un típico círculo vicioso que se acelera con las caídas. La persona se siente débil e inestable, por lo que reduce su actividad física y también sus actividades diarias. Esta reducción acentúa la fatiga y la inestabilidad y el círculo se cierra.

Durante mucho tiempo se ha intentado compensar este déficit tratando de aumentar la fuerza del sujeto mediante un entrenamiento de alto impacto, que sin embargo es difícilmente aceptable para los sujetos de edad avanzada. Sin embargo, en tiempos más recientes se ha demostrado el papel que desempeñan las cocontracciones en los ancianos y en la pérdida de control propioceptivo que se produce. De hecho, **la pérdida de control (por lo tanto, esto más que la pérdida de fuerza) empuja a los ancianos a endurecerse, haciendo un mayor uso de las co-contracciones. Paradójicamente, puede decirse que la persona mayor se levanta con fuerza más que con equilibrio**.

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



Sapienza de Roma.

También en este estudio, presentado de forma preliminar en 200438 y ahora en revisión en Eur J Appl Physiol, realizado a doble ciego y utilizando tanto rMV como un



falsa estimulación, se estimularon los **cuádriceps de mujeres mayores de 60 años**. Los pacientes **sólo recibieron un tratamiento de VMR** y ninguno de ellos participó en programas de actividad física antes del tratamiento y durante el periodo de estudio (90 días).

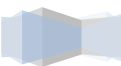
También en este caso, a las 24 horas de finalizado el tratamiento, los índices analizados (potencia en salto y oscilación corporal en postura monopodal) mejoraron significativamente y **en los siguientes 90 días la mejora se acentuó, alcanzando y manteniendo hasta el día 90 del estudio un incremento de alrededor del 35% en la potencia de piernas y de alrededor del 40% en la estabilidad.**

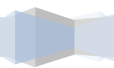
El largo mantenimiento de los resultados en este caso se atribuyó a la consolidación de los efectos plásticos, debido al aumento espontáneo de las actividades cotidianas simples. **Los participantes tratados con rMV** (no se observó ningún efecto en los otros dos grupos), aunque no se sometieron a ningún entrenamiento específico, **declararon moverse con menos fatiga y más facilidad durante el día, para hacer la compra, 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.

Además de confirmar las hipótesis formuladas por Marconi y sus colaboradores, este estudio reveló un **notable aumento de la potencia de las piernas**. Esto último puede explicarse por una mejor estabilidad articular y una reducción de las cocontracciones, pero se planteó la cuestión de si también podría haber 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 que se está redactando actualmente.

Los sujetos mayores de 65 años, sometidos a la VMr, presentan una reducción significativa del umbral en las poblaciones neuronales que controlan el cuádriceps, paralela a un aumento de la inhibición intracortical y de la facilitación recíproca de los flexores de la pierna. La mejora de estos tres parámetros, que suelen empeorar con la edad, y su mejora persistente durante al menos un mes (en los sujetos de edad avanzada la EMT es muy incómoda y no es posible realizar muchas pruebas), perfilan una acción de contraste de la VMr contra un deterioro motor típico del envejecimiento. Al mismo tiempo, se demuestra que este deterioro no es en absoluto irreversible y que, por el contrario, existen considerables reservas plásticas incluso en el Sistema Nervioso Central de los sujetos de edad avanzada.





De los estudios más recientes realizados por el Prof. C. Rubin (2009), aprendemos cómo las **señales 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 las células madre mesenquimales pluripotentes (MSC)**, que son células inmaduras con capacidad de autorrenovación y diferenciación continua en células especializadas de tejidos específicos. Entre las muchas vías de diferenciación, **estas células dan lugar a la osteoblastogénesis y la adipogénesis**, que conducen a la **formación de osteoblastos y adipocitos respectivamente**.

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 del factor PPAR γ para los adipocitos, que la suprime. **De este modo, este método puede ser una estrategia segura, no invasiva y no farmacológica para prevenir la obesidad y la osteoporosis** ³⁹.

Con respecto a esta última patología, recientemente se ha realizado un estudio (Foti C, Annino G, Bosco C et al., 2009) 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. Todos ellos se sometieron a un programa de entrenamiento de una hora tres veces por semana durante cuatro 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 hubo cambios significativos. Por lo tanto, se demostró que **este método**, combinado con la actividad física, es **una intervención no invasiva y única 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", que Melzack y Wall expusieron en 1965 y en la que se basa la justificación científica de las corrientes TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation). Al igual que en el caso del uso de



En el caso del TENS, las vibraciones también serían capaces de producir una especie de bombardeo aferente a lo largo de las fibras mielinizadas de tipo Ia, de tal intensidad que podría definirse 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 apoyada también 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, en lo que respecta a la transmisión de la entrada nociceptiva⁴².

Las vibraciones, el uso de calor y frío y las corrientes eléctricas son los métodos más citados en la literatura como medio de estimulación periférica con fines analgésicos⁴³, aunque las vibraciones parecen ser el menos utilizado de estos métodos. La literatura muestra que las vibraciones se utilizan principalmente con fines analgésicos en el dolor de cabeza⁴⁴, en el dolor musculoesquelético^{45 46 47}, en algunas condiciones de dolor de origen neurogénico y en el dolor lumbar^{48 49}.

El tiempo necesario para aplicar las vibraciones con fines analgésicos varía, en función de los distintos protocolos de trabajo experimental, de 5 a 30 minutos, mientras que el valor de la frecuencia que generalmente se considera más eficaz para este fin es de unos 100 Hz. En general, la técnica de aplicación requiere que la vibración se realice de forma homolateral, sobre el dermatómero en el que se registra el lugar del dolor, aplicando una determinada presión con el equipo vibratorio. Después de 5 minutos de aplicación vibratoria, el dolor desaparece o, al menos, disminuye notablemente, para reaparecer 5-10 minutos después de terminar la aplicación. Por el contrario, si la aplicación vibratoria dura 30 minutos, el efecto antitálgico puede durar hasta 5 horas^{50 51}. También **es interesante señalar que en el dolor lumbar de intensidad media** y no asociado a compresión radicular, **la aplicación de vibraciones a 100 Hz de frecuencia y 1,5 mm de amplitud, mediante un cilindro vibratorio colocado sobre el tendón de Aquiles, es capaz de reducir drásticamente la intensidad del dolor en poco tiempo**⁵².

7.7 LOS EFECTOS DE LA VIBRACIÓN EN LA CIRCULACIÓN SANGUÍNEA

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

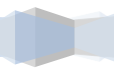


Sin embargo, como no se encontró un aumento de la velocidad máxima dentro del vaso individual, es posible que el aumento de la velocidad media se deba a la dilatación de los vasos sanguíneos más pequeños, reduciendo así la resistencia periférica.

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

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





Capítulo 8

INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS EN LAS UNIVERSIDADES ITALIANAS

Informe del Congreso del 13 de diciembre de 2008 publicado en
"Paginemediche.it".

LAS SIMPLES VIBRACIONES MECÁNICAS 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 las personas mayores y la recuperación de la fatiga en sujetos sanos. Los estudios fueron 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 pruebas 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. Ponentes: 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 muy pequeña amplitud, que son leídas por sensores nerviosos específicos en los músculos y enviadas al sistema nervioso central. Lo que parece una pequeña vibración mecánica es en realidad un código capaz de reprogramar áreas 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 (Fondazione Santa Lucia y EBRI) y el Prof. Guido M. Filippi (Università Cattolica), es capaz de modificar la función de áreas corticales específicas de

control motor, activando mecanismos que pueden conducir a una notable mejora del rendimiento motor.

funciones motoras.

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



investigadores Marconi y Filippi en sujetos sanos, en pacientes afectados por resultados crónicos de ictus (espasticidad), incluso años después del daño 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 sustancialmente libre de efectos secundarios. El procedimiento basado en microvibraciones localizadas, que los investigadores han bautizado como "rMV" (Repeated Muscle Vibration), fue desarrollado por el profesor Filippi, docente del Instituto de Fisiología Humana de la Universidad Católica de Roma. La aplicación de determinadas secuencias de microvibraciones mecánicas a ciertos músculos del cuerpo es capaz de aumentar las funciones de ciertas áreas del cerebro, mejorando la función muscular.

El protocolo

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

Este fortalecimiento es "a largo plazo", porque tras unos 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.

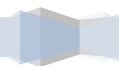
Resultados en neurología, ortopedia, ancianos y sujetos sanos

Más concretamente, en el ámbito neurológico, a partir de los datos actualmente disponibles, se ha demostrado que la rMV es capaz de aumentar el control motor de lo que queda de una lesión neurológica en sujetos que han conservado incluso una mínima motilidad voluntaria residual. También se han producido mejoras significativas en sujetos con formas espásticas (por ictus, traumatismos), pero con movimientos voluntarios residuales.

En el ámbito 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, los estudios preliminares llevados a cabo en el Policlínico Gemelli de Roma han mostrado reducciones del dolor en la artrosis severa de hasta un 50% sólo dos semanas después del tratamiento.



En los estudios realizados hasta ahora por los investigadores de la Universidad Cattolica junto con sus colegas de la Universidad de Perugia (Prof. Enrico Pettorossi) y de la Universidad La Sapienza de Roma, el tratamiento de la VMR concentrado en el cuádriceps ha dado lugar a un aumento significativo de las personas mayores.



colaboración con el Ayuntamiento de Roma, el aumento de la potencia fue del 70-75% y la estabilidad del 30-35%. En particular, un estudio realizado en 200 personas mayores de 65 años en los Centros de Ancianos de Roma mostró una disminución del riesgo de caídas en el 83% de los sujetos y una vuelta a 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 en la resistencia a la fatiga de más del 40% y aumentos en la fuerza explosiva del 27% en individuos jóvenes que no habían realizado ningún tipo de entrenamiento en los meses anteriores al estudio y durante el mismo.

"Aunque la aplicabilidad del procedimiento pueda parecer extensa y el alcance de sus efectos sorprendente -explica el fisiólogo de la Universidad Católica Filippi- hay que recordar que, como demuestran los estudios realizados en colaboración entre el EBRI y la Universidad Católica de Roma, el procedimiento refuerza las redes nerviosas y los mecanismos que regulan el control muscular, minimizando las contracciones innecesarias (presentes en la espasticidad, en los ancianos con miedo a caerse, en los sujetos que no han adquirido un nivel de fuerza adecuado).

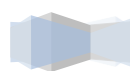
"fluidez" en el gesto atlético), favoreciendo el reclutamiento de las fibras musculares (del que carecen las personas sedentarias por costumbre o por limitaciones terapéuticas). Se trata, por tanto, de una acción directa y selectiva sobre determinadas redes nerviosas, que desempeñan un papel primordial 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 la rehabilitación tradicional. La rMV abre nuevas e importantes puertas para la fisioterapia, que debe intervenir de forma especializada y adecuada a cada paciente".

"Mejorar la función de áreas específicas del cerebro significa mejorar el rendimiento de nuestros músculos motores en términos de fuerza, resistencia a la fatiga y coordinación. En particular, la mala coordinación se expresa en espasticidad, desgarros musculares, mal funcionamiento de las articulaciones, y esto conduce al 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 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 instrumento permite producir esta vibración y, sobre todo, hacerla llegar a los músculos tal cual, sin una distorsión excesiva.

"Esta vibración localizada de los músculos individuales", añade Filippi, "es un estímulo leve pero potente para los cientos de sensores nerviosos de los músculos. Estos "leen" los 100 ciclos por segundo y los envía a los centros nerviosos que controlan el músculo tratado. La frecuencia utilizada³⁷ constituye un "código" para estos centros, cuyo efecto es una potenciación de las redes de control nervioso. El Sistema Nervioso Central se vuelve "mejor" para controlar y coordinar los haces

musculares".



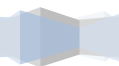
BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Mountcastle V.B., Rose J.: Tacto y cinestesia en neurofisiología. En: Magoun H.W. (Ed). Manual de fisiología. 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. Karger, Basilea, 1973.
- ³ Johansson R.S., Valbo A.B.: Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. *Tendencias en Neurociencia*. 6: 27-32, 1983.
- ⁴ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Periodicidad neuronal y discriminación de frecuencias. *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.: La estructura de los corpúsculos pacinianos digitales humanos y su importancia funcional. *J Anat (Londres)*. 92: 1-20, 1958.
- ⁷ La Motte R.H., Mountcastle V.B.: Capacidades de humanos y monos para discriminar entre estímulos vibratorios de diferente frecuencia y amplitud: correlación entre eventos neurales y eventos psicofísicos. *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 unanesthetized monkeys. Periodicidad neuronal y discriminación de frecuencias. *J Neurophysiol*. 32: 452- 484, 1969.
- ⁹ Loewenstein W.R., Skalak R.: Transmisión mecánica en un Pacinian corpuscle. Un análisis y una teoría. *J Physiol*. 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 mecánica de los propioceptores en mujeres osteoporóticas posmenopáusicas. Congreso Nacional SINFER 21-23 de septiembre de 2004 CHIETI; Efecto de la activación propioceptiva vibratoria en la postura de los pacientes tras la reconstrucción del LCA. Asís 8º Intern. Conf. Orthopaedics, Biomechanics, Sport Rehabilitation Nov 19-21 2004; Persistence des effets de la stimulation mécanique sur le contrôle et l'efficacité musculaire. 35º Congres National S.F.M.K.S 3-4-5 Juin 2005 saint-Tropez - France; Trattamento con energia vibratoria in pazienti affetti da paralisi cerebrale SINFER Catania 2005.
- ¹² Luu Y. K., Pessin J. E., Judex S., Rubin J., Rubin T.C. - Señales mecánicas como medio no invasivo para influir en el destino de las células madre mesenquimales, promoviendo el hueso y suprimiendo el fenotipo graso. *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. - Respuestas adaptativas del músculo esquelético humano a la exposición a las vibraciones. *Fisiología clínica* 19.2:183-187, 1999.
- ¹⁴ Gian Nicola Bisciotti - Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Lyon (Francia); Escuela Universitaria Interfacultativa de Ciencias del Motor de Turín (Italia); entrenador de atletismo del F.C. Internazionale (Italia) - "La aplicación de las vibraciones en la medicina de la rehabilitación (Nueva Investigación Atlética en el Deporte Científico) 2007".
- ¹⁵ G.M. Filippi, F. Camerota, V.M. Saraceni - Artículo: "La vibración mecánica y la rehabilitación motora - un nuevo enfoque para la 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. *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 - Efectos agudos de la vibración de todo el cuerpo sobre la actividad muscular, la fuerza y la potencia. *J Strength Cond Res.* 2006 Mayo;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. - Bone mass and exercise (review). *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., Tsarpela O., Tranquilli C., Bosco C. - El efecto de la vibración de cuerpo entero de alta magnitud y baja frecuencia en mujeres osteoporóticas físicamente activas: un estudio piloto. *Med Sport*, 2008.
- ⁴¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling on pain induced by intraneural electrical stimulation. *Dolor.* 18: 239-28, 1984.
- ⁴² Ottoson D., Ekblom A., Hansson P.: Estímulo vibratorio para el alivio del dolor de origen dental. *Dolor.* 10: 36-39 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. Volumen 5. Raven Press (Eds). Nueva York. 555-561, 1983.
- ⁴⁵ Lunderberg T.: El efecto supresor del dolor de la estimulación vibratoria y la estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS) en comparación con la aspirina. Brain Res. 284: 201-209, 1984.
- ⁴⁶ Lunderberg T., Abrahamsson P., Bonesson L., Haker E.: Estimulación vibratoria comparada con placebo en el alivio del dolor. Scand J Rehab Med. 19: 153-158, 1987.
- ⁴⁷ Lunderberg T., Nordemar T., Ottoson D.: Alivio del dolor mediante estimulación vibratoria. Dolor. 20: 25-44, 1984.
- ⁴⁸ Casale R., Giordan A., Tiengo M.: Respuestas reflejas nociceptivas espinales. Variación de la respuesta refleja nociceptiva. Rall y dolor lumboscialgico inducido por TENS y vibración. Minerva Anest. 51: 217-229, 1985.
- ⁴⁹ Casale R., Tiengo M.: Reflejo de retirada de la flexión: un vínculo entre el dolor y la motilidad. En: Tiengo M et al. Advances in pain research ant therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), Nueva York. 77-83, 1987.
- ⁵⁰ Kemppainen P.: Modificación del umbral de dolor dental humano mediante el condicionamiento de la estimulación vibrotáctil a baja frecuencia. 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. Dolor. 18: 239-28, 1984.
- ⁵² Casale R., Tiengo M.: Reflejo de retirada de la flexión: un vínculo entre el dolor y la motilidad. 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 las noticias de PagineMediche.it

