

---

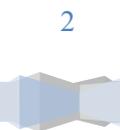
DIE ANWENDUNG VON VIBRATIONEN  
AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER  
Informationen wissenschaftlich

---

# INDEX

---

Einführung	4
<b>1. Was ist Vibration?</b>	5
<b>2. Neurophysiologie der Vibrationswahrnehmung: Rezeptoren im menschlichen Körper</b>	7
<b>3. Klassifizierung von Schwingungen</b>	9
3.1. Unterschied zwischen Vibration und Elektrostimulation	9
<b>4. Mechanische Vibration als eine Form der propriozeptiven Stimulation</b>	10
<b>5. Entwicklung der auf den Körper angewandten mechanischen Schwingungsstudien menschlich</b>	13
5.1. FV: Der wissenschaftliche Weg	15
5.1.1. Die Vibrationen mechanischen fokalen (FV) und Rezeptoren Nerven muskulotendinös	16
5.2. MFV: Struktur zur Erzeugung positiver Effekte durch Mehrfachschwingungen Fokusmechanik	18
<b>6 Ein neues Protokoll für die Anwendung von Vibrationen auf den menschlichen Körper: Repetitive Muscle Vibration (rMV)</b>	19
6.1 Die erste Studie an gesunden Probanden über das Potenzial von rMV: Aktion der rMV auf die Kontrolle der Gelenksteifigkeit	20
6.2 Neurophysiologische Korrelate	21



---

<b>7</b>	<b>positive Auswirkungen von Vibrationen auf den Auswir menschlichen Körper kungen</b>	<b>24</b>
7.1	Auswirkungen auf das Hormonsystem	25
7.2	Auswirkungen auf das Muskel-Skelett-System	26
7.3	Auswirkungen auf das Knochengewebe	27
7.4	Auswirkungen auf ältere Menschen	30
7.5	Auswirkungen auf Fettleibigkeit und Osteoporose	32
7.6	Wirkungen in der Schmerztherapie	32
7.7	Auswirkungen auf den Blutkreislauf	33
<b>8</b>	<b>Forschung und Anwendung von Vibration Mechanik von Teil des Italienische Universitäten:</b> Kongressbericht vom 13. Dezember 2008 auf 'PagineMediche.it' erschienen - Einfache wiederholte mechanische Vibrationen steigern die Gehirnfunktion und verbessern die Kontrolle der Gelenkmuskeln.	<b>35</b>
	Literaturverzeichnis	38



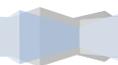
## EINFÜHRUNG

Alles im Universum schwingt. Auch der Mensch ist von dieser Realität betroffen, die sich außerhalb und innerhalb von ihm manifestiert. Schwingung ist eine Lebenskraft. Was den Menschen betrifft, kann die Schwingung in zwei grundlegende Bereiche unterteilt werden: die nützliche Schwingung und die schädliche Schwingung.

Im unendlichen Spektrum der Schwingungen liegt die Wahrnehmung des Menschen in einem Band, das von der Esterozeption über die Frequenzen der Sensorik (die fünf Sinne) bis zur Propriozeption über die Resonanzfrequenzen der eigenen Zellen und Organe reicht. Die Belastungen des Lebens und die daraus resultierenden Schwingungen beeinflussen spürbar das Wohlbefinden und die Gesundheit. Negativ sind zum Beispiel Stress (Introzeption) und Lärm (Externotion).

Der Wert der Vibrationstherapie ist seit dem Altertum bekannt. Sie wurde durch Klänge, das Schlagen von Gegenständen auf den Körper und visuelle Effekte durch Farben angewandt.

In den letzten zehn Jahren ist es der Wissenschaft durch Forschung gelungen, der mechanischen Vibration ein therapeutisches Gesicht zu geben, mit sehr positiven Ergebnissen für die menschliche Gesundheit. Die mechanische Vibration hat die Tür zu einer echten globalen Therapie für den Menschen geöffnet.



## Kapitel 1

### WAS IST VIBRATION?

Der Begriff "Vibration" beschreibt eine oszillatorische Bewegung um eine Referenzposition in regelmäßigen Abständen.

Die Anzahl der vollständigen Zyklen, die während einer Zeiteinheit, z. B. einer Sekunde, durchlaufen werden, wird als Frequenz bezeichnet. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen. Das Hertz gibt an, wie viele Schwingungen (Vibrationen) in einer Sekunde auftreten. Was uns interessiert, sind mechanische Schwingungen.

Der Begriff "mechanische Schwingung" bezieht sich insbesondere auf eine mechanische Schwingung um einen Gleichgewichtspunkt. Es sollte auch klargestellt werden, dass kürzlich eingeführte Begriffe wie "**Schwingungsenergie**" **keine wissenschaftliche Bedeutung haben**.

Unter Oszillation versteht man die Bewegung, die ein beweglicher Punkt ausführt, um sich von seiner Ausgangsposition zu entfernen und wieder zurückzukehren: Man spricht auch von kleinen Bewegungen um die Gleichgewichtslage herum. Oszillationsbewegungen können periodisch oder abwechselnd auftreten.



Beobachtet man ein Objekt während einer Schwingungsbewegung (Abbildung oben), so kann periodische Bewegungen beobachten; die Zeit zwischen zwei Durchgängen eines Punktes zur Referenzposition (Gleichgewichts- oder Ausgangslage) wird als Periode (oder Zyklus) [s] bezeichnet.

Das Ausmaß der Schwingungen wird als Amplitude bezeichnet. Die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit ist die Frequenz.

Jeden Tag ist der menschliche Körper bewusst und unbewusst Schwingungen unterschiedlicher Art ausgesetzt, von denen, die von einem Auto oder einem Zug erzeugt werden, bis hin zu denen, die von einem Auto oder einem Zug erzeugt werden.

von Industriemaschinen oder Werkzeugen wie Pressluftschlämmern, Bohrmaschinen usw.

Nieder-, mittel- und hochfrequente Schwingungen können sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Körper haben. Die Exposition gegenüber Vibrationen kann schwerwiegende Folgen haben



auf den menschlichen Körper, abhängig von der Art der Schwingung und der Dauer der Einwirkung, der der Körper ausgesetzt ist. **Entscheidend sind die Amplitude der Kontaktfläche mit dem schwingenden Gegenstand, die Frequenz der Schwingung, die Amplitude (übertragene Wellenleistung), die Einwirkungsdauer und die Ausbreitungsrichtung der Schwingung.**

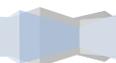
Die negativen Auswirkungen hängen mit den Energiewellen zusammen, die von der vibrierenden Quelle auf den Körper übertragen werden, der der Exposition ausgesetzt ist: Diese verursachen verschiedene Auswirkungen auf Gewebe und Organe, bevor sie abgeschwächt werden.

Der menschliche Körper kann, wie jede andere Maschine auch, nur ein bestimmtes Energieniveau (Schockwellen) an Vibrationen vertragen, bei dessen Überschreitung er zu schrumpfen beginnt und langfristige Schäden erleidet.

**Der menschliche Körper schwingt nicht als eine einzige Masse mit einer Eigenfrequenz, sondern die Organe und jedes einzelne Segment des menschlichen Körpers haben ihre eigene Resonanzfrequenz.** Dies bewirkt eine Verstärkung oder Dämpfung der Eingangsschwingungen durch jeden Bereich des Körpers, entsprechend seiner eigenen Resonanzfrequenz.

Ausbreitung von Tönen und Geräuschen wird Energie in Form von Druckwellen in der Luft übertragen; bei Schwingungen tritt Energie in Form von Wellen auf, die sich in einer festen Struktur ausbreiten. Ein Körper schwingt, wenn er eine oszillierende Bewegung um eine statische Gleichgewichtslage beschreibt.

Die Exposition des Hand-Arm-Systems gegenüber Vibrationen ist beispielsweise mit einem erhöhten Risiko für vaskuläre, neurologische und muskuloskeletale Verletzungen des Hand-Arm-Systems selbst verbunden (z. B. Presslufthammer).



## Kapitel 2

# NEUROPHYSIOLOGIE DER VIBRATIONSWAHRNEHMUNG: REZEPTOREN IM MENSCHLICHEN KÖRPER

Die Vibrationswahrnehmung ist in der Tat eine mechanische Art der Empfindung und umfasst daher Rezeptorstrukturen, die für mechanische Reize empfindlich sind, die Mechanorezeptoren (Mouncastle und Rose, 1959 <sup>1</sup>). **Mechanorezeptoren sind Mikrostrukturen mit verschiedenen Funktionen, die Schwingungssignale von verschiedenen Körperteilen empfangen.**

Aus anatomisch-struktureller Sicht sind Mechanorezeptoren sowohl mit myelinisierten Fasern unterschiedlichen Kalibers als auch mit amyelinisierten Fasern ausgestattet und finden sich in verschiedenen **Gewebetypen** wie **Haut, Muskelgewebe, Knochenhaut, Gelenkkapseln und Bändern**. **Die Muskelmechanorezeptoren sind insbesondere an den Reflexreaktionen beteiligt, die sich aus der Dehnung der Muskel-Sehnen-Einheit ergeben.**

Diese Arten von Mechanorezeptoren bilden hochspezialisierte Strukturen und werden als "anulo-spirale Endigungen" der neuromuskulären Spindeln bezeichnet. Funktionell gesehen sind sie mit myelinisierten Fasern der Lloyd-Gruppe Ia verbunden, die eine hohe Leitungsgeschwindigkeit von etwa  $100 \text{ m/s}^{-1}$  aufweisen und selektiv auf vibrationsartige Reize mit Frequenzen von 90 bis 150 Hz reagieren (Hagbarth, 1973 <sup>2</sup>).

Darüber hinaus können **auf der Ebene der Haut vier weitere Typen von Mechanorezeptoren** beim Menschen mit Hilfe mikroneurographischer Techniken **identifiziert** werden, die auf der Grundlage der Anpassung und Größe des Rezeptorfeldes klassifiziert werden können (Johansson und Valbo, 1983 <sup>3</sup>). Allerdings **erweisen sich nicht alle der vier identifizierten Rezeptortypen als empfindlich für die Vibrationswahrnehmung**, und selbst diejenigen, die sich als empfänglich für den Vibrationsreiz erweisen, **zeigen Unterschiede in der Reaktion, die von der Frequenz des Vibrationsreizes selbst abhängt** (Mountcastle et al., 1969 <sup>4</sup>).

Mountcastle et al. (1969) haben nach Untersuchungen an Tieren die für die **sensorische Aufnahme des Tremor-Vibrationsreizes** verantwortlichen Rezeptoreinheiten in drei Klassen eingeteilt, die sich durch die Art der Nervenendigung, Bereich des Aktionsfeldes des Rezeptors, die adaptiven Eigenschaften und die dynamische Empfindlichkeit voneinander unterscheiden.

**Die drei so identifizierten Klassen von Mechanorezeptoren sind:**

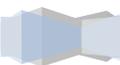
7



- **Mechanorezeptoren mit schneller Adaptation** reagieren auf Bewegung. Sie befinden sich hauptsächlich in **der Dermis** und entsprechen den **Meissner-Körperchen**, die auch als FA-1 (Fast Adaptation-1) bezeichnet werden.
- **Die Mechanorezeptoren mit langsamer Adaptation, die sich ebenfalls in der Dermis befinden**, entsprechen den **Merkel-Scheiben** oder SA-1 (Slow Adaptation-1). Sie sind sowohl für Bewegungen als auch für die Intensität des mechanischen Reizes, dem sie ausgesetzt sind, empfänglich.
- **Pacini-Körperchen** oder FA-2 (Fast Adaptation-2), die sich **im Unterhautgewebe** befinden.

Die von Cosh (1953) durchgeführten Studien über die Vibrationswahrnehmungsschwelle vor und nach der Hautanästhesie haben gezeigt, dass die Rezeptorschwelle für die Vibrationsempfindlichkeit auf **subkutanen Ebene** liegt. Aus diesem Grund können **die Pacini-Körperchen** als **die an der Vibrationswahrnehmung am stärksten beteiligten Mechanorezeptoren** angesehen werden. Zur Bestätigung dieser Hypothese ist hervorzuheben, dass bei älteren Menschen die Schwelle für die Vibrationswahrnehmung erhöht ist, was mit einem Verlust der Pacini-Körperchen einhergeht (Cauna und Mannan, 1958 <sup>6</sup>).

Was die Mechanorezeptoren **auf der Ebene der Dermis** betrifft, so spielen **die Meissner-Körperchen die wichtigste Rolle bei der Vibrationswahrnehmung**, wobei sie jedoch eine selektive Aktivierung für **niederfrequente Vibrationsreize** zwischen **5 und 40 Hz** aufweisen (La Motte und Mountcastle, 1975 <sup>7</sup>). In diesem Zusammenhang ist daran zu erinnern, dass **das psychophysische Empfinden auf der liminalen Ebene niederfrequente Vibrationen um einen Wert von 40 Hz als Tremorempfindung wahrnimmt**, die auch als "Flattern" bezeichnet wird (Talbot et al., 1969 <sup>8</sup>). **Im** Gegensatz dazu wird **bei höherfrequenten Schwingungen** in der Größenordnung von etwa **100 Hz** ein **echtes Vibrationsempfinden** wahrgenommen. Aus diesem Grund ist es vernünftig, die Wahrnehmung des **Flattereffekts** den Meissner-Körperchen zuzuschreiben, deren optimaler Empfang im Bereich zwischen 5 und 40 Hz liegt, während die Wahrnehmung des Vibrationsreizes im Wesentlichen den Pacini-Körperchen zugeschrieben wird, die eine optimale Vibrationsfrequenz um 100 Hz aufweisen, obwohl ihr Empfangsbereich in Wahrheit von 90 bis 600 Hz reicht (Loewenstein und Skalak, 1966 <sup>9</sup>).



## Kapitel 3 KLASSIFIZIERUNG

### DER SCHWINGUNGEN

Vibrationen können nach verschiedenen Parametern klassifiziert werden.

Neben der Frequenz werden Schwingungen auch durch andere, wenn auch weniger entscheidende, eng verwandte Parameter wie Amplitude, Geschwindigkeit und Beschleunigung charakterisiert.

Die Beschleunigung ist ein wichtiger Parameter für die Bewertung der Reaktion des Körpers auf Vibrationen, da der Mensch die Veränderung eines Reizes stärker spürt als seine Dauerhaftigkeit.

**Um eine möglichst positive Wirkung zu erzielen, müssen die Dauer der Einwirkung, der Bereich, in dem die Vibration angewendet wird, die Resonanzfrequenz, der ergonomische Faktor (die Körperhaltung), der psychologische Zustand und die Umweltfaktoren berücksichtigt werden.**

Man muss also den Einsatzort der Schwingung berücksichtigen. Aus diesem Grund können Schwingungen unterschieden werden in:

- Schwingungen, die von einer einzigen Quelle auf den gesamten Körper übertragen werden;
- Schwingungen mit mehreren Quellen, die den ganzen Körper betreffen.

### 3.1 UNTERSCHIED ZWISCHEN ELEKTROSTIMULATION UND VIBRATION

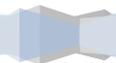
Die Elektrostimulation scheint bei posttraumatischen oder postoperativen Zuständen oder als Massage zur Reaktivierung der ursprünglichen Funktion oder zur Verwendung von schmerzlindernden Strömen wie TENS von Vorteil zu sein.

Es geht hier nicht um leistungsbezogene Vorteile und die richtige biomechanische Funktion.

**Im Gegensatz zur Vibration ist die muskuläre Reaktion der elektrischen Stimulation begrenzt. Außerdem werden die propriozeptiven Systeme in Muskeln, Sehnen und Gelenken nicht stimuliert. Die elektrische Stimulation hat keine Auswirkungen auf die Pacini- und Meissner-Mechanorezeptoren wie die mechanische Stimulation.**

Während die mechanische Vibration die gesamte Muskulatur über aktiviert 9

Wenn das propriozeptive System nicht stimuliert wird, bewirkt der Elektrostimulator nur die Kontraktion der agonistischen Muskeln, was dazu führt, dass das propriozeptive System nicht stimuliert wird, was sich negativ auf die wichtigen Funktionen der intermuskulären Koordination auswirkt.



## Kapitel 4

### MECHANISCHE VIBRATION ALS EINE FORM DER PROPRIOZEPTIVEN STIMULATION

Der russische Physiologe Pawlow wies 1927 nach, dass die geeignete Assoziation zweier geeigneter Reize bestimmte motorische und/oder Verhaltensfunktionen bei der Katze verändern kann (assoziative neuronale Konditionierungsparadigmen, für zeitliche Assoziation zweier Reize). In der Folge wurde dieses Phänomen auf zellulärer Ebene definiert, und man sprach von **Langzeitpotenzierung (LTP), d. h. einer langfristigen (monatelangen) Verstärkung ausgewählter Nervennetze.**

Jedes Jahr werden in mehreren hundert wissenschaftlichen Veröffentlichungen eine Vielzahl von Methoden zur Induktion von LTP-Phänomenen in neuronalen Netzen vorgestellt. **Die Effekte der assoziativen Konditionierung zeichnen sich durch eine Dauer von Wochen oder Monaten im Gegensatz zu Minuten oder Stunden der Konditionierung,** eine große Amplitude der Effekte und rein physiologische Mechanismen aus, da diese Verfahren nur physiologische Mechanismen aktivieren können. In Anbetracht dieser Arbeiten schien es möglich, eine **Form der LTP im propriozeptiven Netzwerk** zu induzieren **und so die Muskelleistung mit einem sehr einfachen und völlig nicht-invasiven Verfahren langfristig zu verbessern.**

In den letzten 10 Jahren haben mehrere Forschungsgruppen, die **verschiedenen Universitätsinstituten** angehören (*Abteilung für Wissenschaft des Bewegungsapparats und Schule für Sportmedizin der Universität Rom "La Sapienza", Lehrstuhl für Physikalische Medizin und Rehabilitation. Abteilung für Innere Medizin, Sektion für Humanphysiologie und Abteilung für medizinische und chirurgische Spezialitäten, Sektion für Orthopädie, Universität Perugia, Institut für Humanphysiologie, Katholische Universität Rom, Abteilung für Wissenschaft und Gesellschaft, Fakultät für Motorik, Universität Cassino*) versucht, einen mechanischen Vibrationsreiz zu finden, der zum einen keine Schäden verursacht und zum anderen therapeutische Wirkungen **hat, indem er auf das propriozeptive Kontrollnetz wirkt.**

Dies führte zur Entwicklung von Forschungsarbeiten über die Verwendung von Sequenzen mechanischer Mikrostimuli, die vom als Vibrationen wahrgenommen werden, in Wirklichkeit aber **einen echten Code darstellen, der vom zentralen Nervensystem gelesen werden kann und in der Lage ist, ausgewählte motorische Funktionen deutlich zu verbessern.** Es wurde festgestellt, dass dieses sehr einfache und völlig nicht-invasive Verfahren **eine Art LTP im propriozeptiven Netzwerk auslöst, wodurch sich die schnell und langfristig die Muskelleistung.**

Jüngste Arbeiten kommen zu zwei übereinstimmenden Ergebnissen: Um anhaltende Wirkungen zu erzielen, müssen die mechanischen Vibrationen eine angemessene Dauer haben (10-15 Minuten). Im Hinblick auf Erhöhung



des Muskeltonus der Schwerkräftmuskeln muss die mechanische Vibration eine Frequenz<sup>10</sup> haben, für die das propriozeptive Kreislaufsystem besonders empfindlich ist (90-120 Hz), und sie muss an entspannten Muskeln verabreicht werden. Für die Kräftigung Skelettmuskulatur ist neben dem durch die mechanische Vibrationsstimulation erzeugten Signal auch die Beteiligung des Patienten durch Kontraktion der Zielmuskeln erforderlich. Der mechanische Reiz wird also mit der gleichzeitigen willentlichen Kontraktion des stimulierten Muskels verbunden: Auf diese Weise treffen zwei gleichzeitige Reize auf das Muskelkontrollnetz ein, einer vom Patienten ausgelöst, der zweite durch die Vibration gegeben.

Die ideale Anwendung wird in 3 Behandlungen von 10 Minuten pro Tag an 3 aufeinander folgenden Tagen durchgeführt. Jede Sitzung sollte durch 3 bis 10 Minuten Muskelentspannung und Aussetzen des Vibrationsreizes unterbrochen werden (der Zyklus von 3 Sitzungen kann in einem Zeitrahmen 45 Minuten pro Tag an 3 aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt werden). Die Ergebnisse dieser Forschung wurden auf Konferenzen vorgestellt<sup>11</sup>.

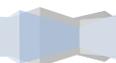
Die einseitige Wirkung bei gesunden Probanden und die Schnelligkeit der Wirkung (24 Stunden) bei orthopädischen Patienten lassen auf eine direkte Wirkung der Behandlung auf das zentrale Nervensystem schließen. Darüber hinaus lässt die Wiederherstellung der Stabilität auf einem Bein mit geschlossenen Augen bei Patienten mit ACL (vorderes Kreuzband) Rekonstruktion schließen, dass **die durchgeführte Behandlung die Analyse propriozeptiven Informationen verändert hat. Die Persistenz der Wirkungen deutet schließlich darauf hin, dass tatsächlich plastische Veränderungen in den propriozeptiven Schaltkreisen induziert wurden.** Es wurden keinerlei Nebenwirkungen beobachtet.

**Es handelt sich um einen völlig neuen Weg, der darauf abzielt, die Nervennetze zur Muskelsteuerung "umzuprogrammieren"** (fast wie eine Art Computer "upgraden"). Diese neue Grenze des Trainings (im Sport, aber auch in der Rehabilitation) beruht auf einem grundlegenden Prinzip: **Die Muskelleistung hängt nicht von der vorhandenen Muskelmasse ab, sondern davon, wie sie verwaltet wird.**

Ein makroskopisches Beispiel sind die Sprinter: Mennea und seine Zeitgenossen hatten eine um mehr als 50 Prozent geringere Muskelmasse als die heutigen Sprinter, aber ihre Zeiten waren kaum zu schlagen. Sie waren weitaus effizientere Muskelmaschinen als die heutigen Menschen. Der Grund dafür ist der Neurophysiologie seit langem bekannt: Ihr Nervensystem war in der Lage, ihre Muskeln optimal zu steuern, ihr Training war auf eine flüssige Leistung ausgerichtet, um eine maximale Effektivität zu erreichen.

**Heute wird, leider mit Hilfe der Chemie, mehr Kraft für die kontraktile Masse gesucht, aber die Leistung wird immer weniger effektiv.**

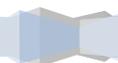
11



**Da die Wirksamkeit also weit mehr von der Kontrolle der Muskelmasse als von ihrem Volumen abhängt, ist es wichtig, diese Funktion zu steigern.** Es gibt Techniken, die auf der Verarbeitung mechanischer Vibrationssignalsequenzen beruhen und darauf abzielen, Formen der Langzeitpotenzierung (LTP) bei bestimmten Nervenfunktionen zu erreichen. Dank dieser Techniken ist es möglich, direkt auf die neuromuskuläre Kontrolle einzuwirken, und zwar mit außerordentlich starken Effekten (Steigerungen von mehreren zehn Prozentpunkten), die schnell (bei Anwendungen von wenigen Minuten, die in kurzen Zeiträumen wiederholt werden) und dauerhaft (Wochen oder Monate) eintreten.

Bemerkenswert ist, dass dieses neue System nicht nur in Bezug auf die Größe recht beeindruckende Effekte erzielt, sondern auch in Form einer Methode, die das Gegenteil von Doping ist. Letzteres treibt den Probanden nämlich über seine Möglichkeiten hinaus und führt dazu, dass er weit mehr Energie aufwendet, der Organismus zu tun bereit ist. Die Verbesserung der motorischen Kontrolle hingegen bedeutet eine Optimierung der sportlichen Geste, die eine Energieeinsparung bei jeder Bewegung und somit eine größere Anzahl von Bewegungen bei gleichem Energieaufwand ermöglicht.

**Die verbesserte Kontrolle ermöglicht es Ihnen, sich zu konzentrieren und explosive Kraft auszudrücken, ohne diese zu steigern:** Die Leistung wird durch ein besseres Muskelmanagement gesteigert.



## Kapitel 5

### ENTWICKLUNG VON STUDIEN ÜBER MECHANISCHE SCHWINGUNGEN, DIE AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER ANGEWENDET WERDEN

Das Interesse an möglichen therapeutischen oder sportlichen Anwendungen von mechanischen Schwingungen wird in der Wissenschaft immer wieder neu geweckt, und diese Forschung hat im Laufe der Jahre zu einer beeindruckenden Literatur geführt.

**Die erste wissenschaftliche Arbeit** über den Einsatz von Vibrationen zu therapeutischen Zwecken beim Menschen (so genannte therapeutische Vibrationsübungen) **stammt aus dem Jahr 1949**, als **Whedon et al.** über die **positiven Auswirkungen** der Anwendung von Vibrationen, die durch ein spezielles Schwingungsbett erzeugt wurden, auf die Stoffwechselstörungen von bettlägerigen Patienten in Gipsverbänden berichteten.

Eine spätere experimentelle Studie (Hettinger, **1956**) zeigte, dass die Verabreichung von **Vibrationen mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Beschleunigung von 10 g in der Lage war, die Muskelquerschnittsfläche zu vergrößern und das Fettgewebe im Muskel selbst zu verringern.**

Im rein therapeutischen Bereich patentierte Schiessl (1997) fast vierzig Jahre später die Verwendung eines Geräts, das Rotationsschwingungen erzeugen kann, während Fritton et al. (1997) ein Gerät entwickelten, das auf Translationsschwingungen basierte (eine Technik, die später aufgrund ihrer schlechten Ergebnisse aufgegeben wurde). In beiden Fällen bestand der Anwendungsbereich dieser Geräte in dem Versuch, **das Knochenwachstum dank bestimmter Frequenzen, die wir als "osteogen" bezeichnen könnten, zu stimulieren.**

Ein Jahr später **zeigten** experimentelle Arbeiten von **Flieger et al. (1998)**, **dass es bei Tieren, die Vibrationen ausgesetzt waren, zu einer Zunahme der Knochenproliferation kam.**

**Von 1994 bis heute** hat sich **Prof. C. Rubin** in seinen Studien auf das Verständnis der zellulären Mechanismen konzentriert, die für das Wachstum, die **Heilung und die Homöostase der Knochen** verantwortlich sind, und insbesondere auf die Analyse der Art und Weise, wie biophysikalische Reize (mechanische und andere) diese Reaktionen vermitteln<sup>12</sup>. Die Ergebnisse seiner Arbeit zeigen, wie diese Reize **eine Hemmung der Osteopenie**, die Förderung des Knochenwachstums in Prothesen oder bei Skelettdefekten und sogar eine **schnellere Heilung von Frakturen.**

13

Bis 1987 bezogen sich jedoch alle Studien über mechanische Vibrationen auf  Auswirkungen auf das Skelettsystem, also auf die Behandlung von Osteoporose und die Heilung von Traumata,

Knochenentkalkung, Knochendegeneration und verminderte Kalkbildung bei Astronauten. Erst Ende der 80er Jahre erschienen die ersten Studien über die Möglichkeit, **die Kontraktionsfähigkeit von Muskeln, die Vibrationsbelastungen ausgesetzt sind, zu erhöhen** (Nazarov und Spivak, 1987). Seitdem wurden die Forschungen in diesem Bereich immer umfassender, und die Vorteile kontrollierter Vibrationen wurden auch aus muskulärer Sicht analysiert.

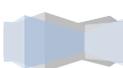
Die Russen Nazarov und Spirav arbeiteten für die russische Regierung, und ihre Vibrationsstudien wurden zur Unterstützung der gymnastischen Aktivitäten der Astronauten im Weltraum verwendet. In den frühen 1990er Jahren schafften es die Amerikaner, nicht länger als 120 Tage im Weltraum zu bleiben, und hatten stets schwere Muskel- und Knochenprobleme, während die russischen Astronauten einen Rekord nach dem anderen aufstellten, indem sie zwei Astronauten 450 Tage lang auf der Orbitalstation MIR im All stationierten.

Seitdem hat sich die Forschung in diesem speziellen Bereich vertieft, vor allem dank der Studien von **Prof. Carmelo Bosco, einem der bedeutendsten Vertreter der Erforschung der Reaktion des menschlichen Körpers auf mechanische Vibrationen**. Er entwickelte eine Trainingsmethode (AV - Vibratory Training), die es ermöglicht, einfache Übungen auf einer vibrierenden Plattform bei bestimmten Frequenzen die Kraft, die Widerstandsfähigkeit und die Geschwindigkeit der untersuchten Person zu verbessern, und die es auch ermöglicht, ältere Menschen und Verletzte zu behandeln, ohne auf unangenehme Umerziehungstherapien zurückgreifen zu müssen <sup>13</sup>.

**Im Jahr 2007** erschien in der Zeitschrift "New athletic Research in Science Sport" ein Artikel, der von der Fakultät für Sportwissenschaften der Universität Lyon (Frankreich) und der Interfakultären Schule für Sportwissenschaften in Turin koordiniert wurde (Bisciotti, 2007). <sup>14</sup> In dem Artikel heißt es:

*"Die Auswirkungen der kontrollierten Verabreichung von Vibrationen auf den menschlichen Körper sind seit 1949 bekannt, dem Datum der ersten wissenschaftlichen Arbeit auf diesem Gebiet. Doch erst vierzig Jahre später wurde der therapeutische Wert von Vibrationen im Hinblick auf ihre osteogene Wirkung wissenschaftlich anerkannt, was ihre Anwendung in der Altersmedizin im Allgemeinen und bei bestimmten spezifischen Pathologien wie Osteoporose rechtfertigt. Darüber hinaus wurden die physiologischen Wirkungen von Vibrationen in jüngster Zeit genutzt, um besondere Anpassungen im Hinblick auf die Steigerung der Kontraktionskraft in ihren verschiedenen Aspekten, auch im Sportbereich, zu bewirken. Ein weiteres, wenn auch nicht sehr bekanntes therapeutisches Feld der Vibration ist die funktionelle Rehabilitation. In diesem Beitrag sollen die neurophysiologischen Grundlagen der Vibrationsarbeit dargestellt werden."*

Wir können heute **zwei Formen definieren**, mechanische Schwingungen unseren Körper erreichen können:



1. Erstere ist in der Lage, bestimmte Arten von Nervenrezeptoren, die an der motorischen Kontrolle beteiligt sind, kraftvoll und selektiv zu stimulieren. Sie ist daher auf einzelne Muskeln oder kleine Gruppen benachbarter Muskeln beschränkt und wird daher als **fokale Vibration (FV)** bezeichnet;
2. Die zweite Form umfasst den gesamten Körper. Sie wird bei völliger Körperhaltung angewendet, die Gelenke sind dekoaptiert. Sie wird an präzisen Punkten mit gezielten Frequenzen angewendet. Bei dieser Anwendung mit begrenzter Bestrahlung und an symmetrischen Punkten kommt es nicht zur Erzeugung und Ausbreitung niedriger harmonischer Frequenzen, die für die Strukturen des menschlichen Körpers schädlich sind, sondern lediglich zur Stimulation der Mechanorezeptoren der Haut. Diese Form wird als **Multi Focal Vibration (Keope MFV)** bezeichnet.

## 5.1 FOKALE SCHWINGUNGEN (FV): DER WISSENSCHAFTLICHE WEG

PV ermöglicht einen sehr präzisen Einsatz des Schwingungsreizes. Sie wird in der Forschung häufig eingesetzt, um das propriozeptive System einzelner Muskeln oder Gelenke zu aktivieren. Seit langem wird versucht, sie für therapeutische Zwecke zu nutzen, da ihre Wirkung auf neuromuskuläre Spindeln <sup>bekannt ist<sup>15</sup></sup>.

Während die vibrierende Plattform eine massive Ausbreitung über den Körper hat, die durch eine einzige Quelle im Plantarbereich bestimmt wird, bleiben PV und MFV auf kleine Bezirke beschränkt und verhindern das typische Phänomen der Ausbreitung mechanischer Signale durch inhomogene Strukturen wie biologische Gewebe (Fett, Haut, Muskeln, Knochen, Knorpel, Bindegewebe usw.), d. h. die Verzerrung des angelegten Signals. Bei PV und auch bei MFV ist bekannt, welches Signal angelegt wird, welche Nervenenden stimuliert werden und welches Signal die Zentren erreicht.

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Parametern der PV identifiziert, die die motorische Kontrolle nachhaltig verändern können. Die Forschung hat insbesondere **drei relevante Aspekte** hervorgehoben:

1. Wie bereits von vielen <sup>Autoren<sup>16</sup></sup> ausführlich dokumentiert wurde, muss die Schwingungsfrequenz ein "reines" Signal sein, das aus einer einzigen Oberschwingung besteht, d. h. eine einzige Frequenz, die ein "treibendes" Phänomen hervorrufen kann;
  2. die Wirkungen bleiben nur bestehen, wenn eine reine Frequenz zwischen 90 und 120 Hz <sup>17</sup> angewendet wird (was den Muskeltonusreiz betrifft);
  3. Die Wirkungen halten an, wenn die Stimulation mindestens 10 Minuten lang fortgesetzt wird <sup>18</sup>. Darüber hinaus sind PV und MFV in der Lage, kortikale Erregbarkeit des Bereichs <sup>zu</sup> verändern <sup>15</sup>
- Primärantrieb, sowohl während der Vibration als auch nach dem Ende der Vibration <sup>19</sup>. Einige Forschungsgruppen haben sich daher systematisch mit dem Problem befasst,



um ein Anwendungsprotokoll festzulegen, mit dem wiederholbare Ergebnisse erzielt werden können und das somit in den zugrunde liegenden Mechanismen<sup>20 21 22 23</sup> bewertet werden kann.

### 5.1.1 FOKALE MECHANISCHE VIBRATION (FV) UND MUSKULOTENDINÖSE NERVENREZEPTOREN

Muskeln und Sehnen verfügen über zwei Arten von Nervenrezeptoren, die von mittel- und großkalibrigen Fasern, d. h. mit hoher Leitungsgeschwindigkeit, innerviert werden: die neuromuskulären Spindeln und das Golgi-Tendon-Organ (GTO).

Erstere hätten über sensible Fasern, die üblicherweise als Ia (primär, mit einer Leitungsgeschwindigkeit zwischen 72 und 120 m/s) und II (sekundär, mit einer Leitungsgeschwindigkeit zwischen 24 und 72 m/s) bezeichnet werden, die Funktion, die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Verlängerung oder Verkürzung der Muskelfasern zu steuern<sup>24</sup>.

Letztere, deren Nervenfasern als Ib bezeichnet werden (mit einer Leitungsgeschwindigkeit zwischen 72 und 120 m/s), sollen dazu dienen, die von den einzelnen motorischen Einheiten entwickelten Belastungen zu erkennen<sup>25</sup>.

1963 wies Prof. R. Bianconi, der erste Professor für Humanphysiologie an der Katholischen Universität Rom, nach, dass mechanische Vibrationen, die mit geeigneten Amplituden und Frequenzen auf einen einzelnen Muskel einwirken, je nach den Eigenschaften des Reizes selektiv primäre (Ia) und sekundäre (Iib) Spindelafferenzen oder GTO aktivieren können.

Darüber hinaus nicht nur gezeigt, dass es möglich ist, ausgewählte Klassen von Rezeptoren auf völlig nicht-invasive Weise zu aktivieren, sondern es wurde auch ein weiterer Aspekt von außerordentlicher Bedeutung für die Forschung hervorgehoben: **Aufgrund bestimmter Eigenschaften von Frequenz und Amplitude der angewandten Vibration erzeugen diese Rezeptoren Frequenzen von Aktionspotentialen, die der Frequenz der angewandten Vibration entsprechen und die aktivierten Afferenzen zu einer Entladungsfrequenz führen, die mit der der Stimulation identisch ist (das Phänomen des "driving")**<sup>26 27</sup>.

"Driving" ermöglicht es, eine PRIMÄRFUSALE AFFEKTIVIERUNG mit Frequenzen von 20 oder 30 oder 100 Hz zu steuern, indem Vibrationen mit Frequenzen von 20 oder 30 oder 100 Hz angelegt werden, ohne dass elektrische Stimuli verwendet oder Nervenfasern chirurgisch isoliert werden müssen, sondern einfach durch Anlegen einer mechanischen Vibration an einen einzelnen Muskel.

Mit geeigneten Frequenzen und Amplitude von Schwingungen ist es möglich sowohl als auch die aktivierten Afferenzen und bestimmen die Häufigkeit der an das zentrale Nervensystem gesendeten Aktionspotenziale.



Zum ersten Mal konnten Frequenzen vordefinierter Aktionspotenziale an spezifische Zentren des zentralen Nervensystems (die mit Informationen der Spindeln und GTOs arbeiten) gesendet werden, wobei die Vibrationsparameter entsprechend gewählt wurden und nicht-invasive Aktivierungsmodi und physiologische afferente Bahnen verfolgt wurden. Dies war eine radikale Veränderung in der Art der Stimulation empfindlicher Bahnen im Vergleich zu den Stimulationen, die mittels bioelektrischer Stimulation an ganzen Nervenstämmen oder sogar an einzelnen Fasern durchgeführt werden, die in hohem Maße unphysiologisch und unspezifisch sind.



## 5.2 MULTIFOKALE VIBRATION (KEOPE MFV)

### STRUKTUR ZUR ERZEUGUNG POSITIVER EFFEKTE, DIE DURCH VERSCHIEDENE FOKALE MECHANISCHE SCHWINGUNGEN HERVORGERUFEN WERDEN

1991 begann das Forschungszentrum für menschliches Verhalten (Centro di Ricerca sul Comportamento Umano - Centro A.M. di Sirtori - LC) mit der Konstruktion einer idealen ergonomischen Struktur für die Einwirkung von Vibrationen auf den menschlichen Körper und schloss diese Arbeit später ab.

Der menschliche Körper kann als ein System mit  $n$  Freiheitsgraden betrachtet werden, er schwingt nicht als eine einzige Masse mit einer einzigen Eigenfrequenz, sondern jede Masse, d. h. jeder seiner Teile, hat seine eigene spezifische Resonanzfrequenz, und daher **kann die Anwendung von Schwingungen nicht von einem einzigen Punkt des Körpers ausgehen und dann die Auswirkungen auf den Rest des Körpers übertragen**. Dies führt nicht nur nicht zu den gewünschten Ergebnissen, sondern hat auch negative Auswirkungen auf den gesamten Organismus.

**Das Optimum wird dadurch erreicht, dass die Schwingungen in bestimmten Körperbereichen sehr genau lokalisiert werden, um die Wirkung der Schwingungen auf den gewünschten Bereich zu konzentrieren**, in dem die Schwingungen dann angewendet werden müssen, wobei eine unnötige Streuung vermieden wird. Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, ist dies zentrale Element der fokalen Anwendung.

In den letzten Jahren hat das AM-Zentrum eine **neue Art** der Vibrationsanwendung auf den menschlichen Körper gefunden: die **Multi-Focal-Vibration**, die durch **mechanische Vibration mit gezielten Frequenzen an bestimmten Körperstellen** wirkt, die den genauen Ansätzen der Muskelketten entsprechen; **Stellen, die den gesamten Bewegungsapparat betreffen**.

Ermöglicht wurde dies durch eine frühere Erfindung: Keope, die einzige wesentliche ergonomische Struktur, die es dem menschlichen Körper ermöglicht, eine **Haltung in völliger funktioneller Entlastung** einzunehmen. Diese Struktur minimiert den Körperkontakt, wodurch unnötiger Druck vermieden und die Blutzirkulation und die Lungenbelüftung verbessert sowie die Herzarbeit reduziert wird. Darüber hinaus **ermöglicht** diese Struktur **die Anwendung von Vibrationen bei der Dekoaptation der Wirbelsäule und der großen Gelenke**.

Die Wirkung mehrerer Mikrovibratoren in bestimmten Bereichen mit gezielten Frequenzen ermöglicht es, die positiven Auswirkungen der Vibration zu maximieren, die in den letzten Jahren in zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen nachgewiesen wurden.



## Kapitel 6

### EIN PROTOKOLL FÜR DIE EINWIRKUNG VON VIBRATIONEN AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

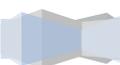
Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, ist seit mehr als 40 Jahren bekannt, dass mechanische Vibrationen, die auf einzelne Muskeln gerichtet sind, die muskulotendinösen Propriozeptoren stark aktivieren können. Da dieser Reiz völlig schmerzfrei und nicht invasiv ist, wird seit langem versucht, dieses Verfahren zur Verbesserung der motorischen Kontrolle einzusetzen. Allerdings verschwanden die Verbesserungen, sofern vorhanden, wenige Augenblicke nach dem Ende der Vibration.

Kürzlich wurden Vibrationsparameter und ein Anwendungsprotokoll identifiziert, die in der Lage sind, plastische und somit dauerhafte Veränderungen in der motorischen Kontrolle hervorzurufen. Diese Ergebnisse eröffnen neue und noch nie dagewesene Möglichkeiten für die Rehabilitation, denn die Kontrolle der Gelenksteifigkeit entzieht sich weitgehend unserem Bewusstsein, was ein ernsthaftes Hindernis für die Arbeit des Physiotherapeuten darstellt.

**Das Institut für Humanphysiologie der Katholischen Universität vom Heiligen Herzen in Rom und das Institut für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Universität La Sapienza in Rom** führten eine Reihe von Experimenten durch.

Die Ergebnisse zeigten, dass eine Vibration von 10 Minuten Dauer, dreimal täglich und an drei aufeinanderfolgenden Tagen, ausreicht, um die maximale Wirkung bei kürzester Anwendungszeit zu erzielen. Es wurde auch festgestellt, dass eine 30-minütige kontinuierliche Vibration, ohne auch nur eine sehr kurze Pause, die Wirkung deutlich verringert, was wahrscheinlich auf das Gewöhnungsphänomen zurückzuführen ist. Aufgrund dieser wiederholten Vibrationsexposition wurde die Bezeichnung rMV (Repetitive Muscle Vibration) eingeführt.

Schließlich sind die Wirkungen nur dann spürbar, wenn die Versuchsperson den zu behandelnden Muskel während des gesamten Zeitraums, in dem die Vibration aktiviert wird, in einer leichten willentlichen, isometrischen Kontraktion hält. Ursprünglich wurde diese Bedingung gewählt, um die Übertragung der mechanischen Vibration im muskulären Kontext zu erleichtern, dank durch die Muskelkontraktion induzierten Erhöhung der Steifigkeit, und um die Empfindlichkeit der neuromuskulären Spindeln durch die gleichzeitige Aktivierung der Gammakreise zu erhöhen. In der Folge wurde es zugeschrieben dieser Aspekt des Protokolls eine viel größere Rolle.



## 6.1 DIE ERSTE STUDIE AN GESUNDEN PROBANDEN ÜBER DAS POTENZIAL OF rMV: Wirkung der rMV auf die Kontrolle der Gelenksteifigkeit

Eine Doppelblindstudie, die Definition der Wirkungen und zum Verständnis der Wirkungsmechanismen dieses speziellen integrierten Systems, bestehend aus einem Protokoll und einem Ad-hoc-Gerät, beiträgt, wurde an <sup>gesunden</sup> Probanden<sup>28</sup> durchgeführt, indem rMV auf den Quadrizepsmuskel angewendet wurde.

Die Studie deutet darauf hin, dass die Wirkung der verlängerten Vibration in der Lage war, die motorische Kontrolle des behandelten Hauptgelenks nachhaltig zu verändern (Tests 15 Tage nach der Behandlung). Insbesondere zeigten die Probanden eine deutliche Zunahme (+40 %) der Ermüdungsresistenz wiederholten Übungen (Beinstreckbewegungen unter Belastung).

Dieser Anstieg wurde auf eine verbesserte Kontrolle der Gelenksteifigkeit zurückgeführt, die durch eine Verringerung der durch Muskelkoaktivierungen bedingten Gelenkimpedanz hervorgerufen wurde. Die parallele Verringerung der Anstiegszeit der maximalen isometrischen Kontraktionskraft (die vor und nach der Behandlung unverändert blieb) wurde auf die feinere Gelenkstabilisierung zurückgeführt, die sich durch die wahrscheinliche Verringerung der Koaktivierungen manifestierte und es dem Nervensystem ermöglichte, die Quadrizeps-Kraft effektiver zu entfalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass entwickelte Protokoll einige völlig neuartige Wirkungen und mögliche Mechanismen aufzeigte. Es wurde insbesondere darauf hingewiesen, dass:

1. Die Anwendung einer Vibration mit niedriger Amplitude ( $< 0,1$  mm) bei 100 Hz für 10 aufeinanderfolgende Minuten, dreimal täglich, an drei aufeinanderfolgenden Tagen, ist in der Lage, bedeutende und anhaltende Veränderungen in der motorischen Leistung zu bewirken.
2. rMV scheint direkt auf die motorische einzuwirken, indem es die Gelenkkontrolle und insbesondere die Kontrolle der Gelenksteifigkeit verbessert.

Die Innovationen, die mit dieser Studie eingeführt wurden, waren wirklich bemerkenswert, denn in dieser ersten Studie wurde ein integriertes System vorgestellt, das aus einem Protokoll und einem besonderen Instrumentarium besteht, das in der Lage ist, in nur 90 Minuten eine Wirkung auf die motorische Kontrolle zu erzielen, die mindestens 15 Tage lang anhält und von großer Intensität ist.

Außerdem scheint Wirkungsmechanismus in einer Veränderung Kontrolle der Gelenksteifigkeit zu liegen, also in direkten Wirkung auf das zentrale Nervensystem und auf einen Parameter: die **Gelenksteifigkeit**.

Die Gelenksteifigkeit ist eine der komplexesten und

Determinanten der motorischen Kontrolle. Insbesondere die Kontrolle der Gelenksteifigkeit ist der Dreh- und Angelpunkt der motorischen Rehabilitation und wird vollständig außerhalb der Kontrolle des Körpers gesteuert.



freiwillig und daher vom Therapeuten nur auf indirektem und daher schwierigem, zeitaufwändigem und unsicherem Weg veränderbar.

Es handelt sich um einen Aspekt, der fast alle motorischen Pathologien betrifft, man denke nur an die Spastik oder die Muskelhypotonie (bzw. an die Exzesse und Defizite in der Gelenksteifigkeit) und die Folgen, die diese für die motorischen Defizite, die Lebensqualität und Hindernis, das sie für das Therapeuten-Patienten-Duo darstellen, um zu korrekten motorischen Strategien zu gelangen, haben.

Infolge dieser Ableitungen wurde die Studie auf Situationen ausgedehnt, in denen die Gelenksteifigkeit explizit verändert wurde, entweder im Sinne eines Defizits oder einer Zunahme.

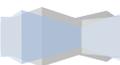
## 6.2 NEUROPHYSIOLOGISCHE KORRELATE

Beide oben genannten Studien legen nahe, dass die **rMV in der Lage ist**, plastische **Veränderungen** im zentralen Nervensystem **hervorzurufen**, insbesondere in **den Kontrollkreisläufen des behandelten Muskels** und möglicherweise in funktionell verwandten **Kreisläufen**. Diese Ergebnisse machten es notwendig, nach neurophysiologischen Korrelaten zu den Daten aus der motorischen Leistungsstudie zu suchen.

Der ausgelöste Mechanismus schien in der Lage zu sein, die Steuerung der Gelenksteifigkeit zu verändern, eine sehr komplexe Steuerung, die das Zusammenspiel zahlreicher Gruppen von motorischen Einheiten erfordert, die zu anatomisch unterschiedlichen Muskeln gehören, mit feinen und schnellen Veränderungen im Verlauf der motorischen Handlung. **Plastische Veränderungen im Nervensystem mussten daher "stromaufwärts" im Zentralnervensystem gesucht werden. Die Aufmerksamkeit richtete sich daher auf den primären motorischen Kortex (M1).**

Mit einer nicht-invasiven und relativ einfachen Technik, der transkraniellen Magnetstimulation (TMS), können Mikrobereiche dieser Region stimuliert werden. Die aktivierten Pyramidenzellen aktivieren wiederum die motorischen Populationen der Wirbelsäule, und das durch eine solche kortikale Stimulation hervorgerufene elektrische Muskelsignal (Magnetisch Evoziertes Potential, MEP) kann mit Hilfe eines Oberflächen-EMG aufgezeichnet werden. Auf diese Weise ist es möglich, die kortikale Ausdehnung der an der Kontrolle bestimmter Muskeln beteiligten Areale, ihren Erregungsgrad und - mit etwas komplexeren Verfahren - die Kontrollmechanismen zu untersuchen, die von kortikalen Schaltkreisen auf dieselben Areale ausgeübt werden.

Für diese Studie, die von Barbara Marconi <sup>29</sup>, Forscherin an der Fondazione S. Lucia und <sup>21</sup> der EBRI Foundation, zusammen mit anderen Mitarbeitern, wurde rMV auf die Muskulatur angewendet Radialbeuger der Handwurzel bei gesunden Probanden.



Die Anwendung von TMS zeigte, dass die rMV-Behandlung intrakortikale hemmende Mechanismen in den Bereichen stimulierte, die mit dem behandelten Muskel in Verbindung stehen, während die Bereiche, die dem antagonistischen Muskel (dem Common Extensor der Finger) entsprechen, erleichtert wurden. **Die Effekte traten nur bei der Kombination aus willentlicher Muskelkontraktion + und Vibration** auf und hielten mindestens 15 Tage lang an, mit einer Rückkehr zur Situation vor der rMV-Behandlung innerhalb von 30 Tagen nach der Behandlung.

**Die Notwendigkeit, willkürliche Muskelkontraktion und Vibration miteinander zu verbinden, lässt vermuten, dass das plastische Phänomen durch einen assoziativen Mechanismus ausgelöst wird, der eine gemeinsame Aktivierung verschiedener Zellpopulationen beinhaltet.**

Unter Gesichtspunkt der funktionellen Bedeutung wird angenommen, dass eine Erhöhung der Hemmung in den intrakortikalen Schaltkreisen von M1 die Identifizierung der Muskeln begünstigt, die während der Bewegung benutzt werden sollen, wodurch unerwünschte Kontraktionen oder, in einem allgemeineren Sinne, unerwünschte Ko-Kontraktionen reduziert werden. Dieser Mechanismus wird natürlich durch Prozesse reziproken kortikalen Hemmung verstärkt, wobei die Aktivierung einer Muskelgruppe den Antagonisten hemmt und umgekehrt. Die Behandlung mit rMV scheint also beide Mechanismen zu aktivieren, von denen man annimmt, dass sie funktionell zur Regulierung von Ko-Kontraktionen beitragen.

Der Mechanismus der Ko-Kontraktion ist im Guten wie im Schlechten entscheidend für unsere Bewegungen, stellt aber auch, wie bereits erwähnt, ein großes Problem bei Training und Rehabilitation dar.

Ko-Kontraktionen sind für die Regulierung der Gelenksteifigkeit von entscheidender Bedeutung, verursachen aber gleichzeitig einen erhöhten Energie- und Stoffwechsellaufwand, eine geringere Muskeffizienz, eine höhere Ermüdung und eine geringere Ausführungsgeschwindigkeit. Die Ergebnisse der TMS-Studie scheinen also mit den Hypothesen früherer Studien übereinzustimmen<sup>30 31</sup>: **rMV scheint in der Lage zu sein, die motorischen Kontrollmechanismen zu verbessern, von denen angenommen wird, dass sie an der Gelenkkontrolle beteiligt sind.**

**Die Möglichkeit, dass rMV eine Verringerung der Ko-Kontraktionen und ein verbessertes Agonisten-Antagonisten-Management bewirkt, steht auch im Einklang mit der erhöhten Ermüdungsresistenz und den reduzierten Kraftexplosionszeiten, die bei gesunden Probanden beobachtet wurden.**

Die Verbesserung der Ko-Kontraktionen, die einerseits unverzichtbar, andererseits ein Hindernis für die motorische Ausführung sind, ist sehr schwierig, ebenso wie die gemeinsame Kontrolle im weiteren Sinne. Es handelt sich um Anpassungen, die sich unserem Willen und Bewusstsein entziehen und von vollständig durch die Wirkung des Zentralnervensystems. Jegliche Intervention an ihnen ist daher nur sehr indirekt und daher äußerst zeitaufwendig und ermüdend, wie die Merkmale des Sporttrainings und der motorischen Rehabilitation bezeugen. **Das rMV, basierend auf diesen**



**Die Ergebnisse zeigen, dass es in der Lage zu sein scheint, direkt, schnell und völlig nicht-invasiv auf diese Mechanismen einzuwirken.**

In der Studie von Marconi kehrte die Situation innerhalb von 30 Tagen zu der Situation vor der rMV zurück, während die Probanden mit VKB-Rekonstruktion, die bis zu 120 Tage nach der Behandlung verfolgt wurden, ohne Wiederholung der Behandlung, ihre Leistung weiter steigerten. Diese Unterschiede liegen wahrscheinlich in der fehlenden Konsolidierung der plastischen Effekte bei der Behandlung des Radialflexors der Handwurzel bei gesunden Probanden im Vergleich zu Patienten mit VKB-Rekonstruktion. Bei den ersteren wurde die behandelte Muskelgruppe nach der rMV-Behandlung weiterhin wie vor der Behandlung benutzt. Bei den letzteren hingegen stimulierte die Rehabilitation die Kontrolle über das Knie weiter. Die neuromotorische Situation des Karpusbeugers wurde also bei den gesunden Probanden physiologisch auf die "normale" Situation zurückgeführt, während die Rehabilitation bei den operierten Patienten darauf abzielte, die Wirkung der rMV zu verstärken und vor allem zu festigen.

Diese Überlegungen unterstreichen die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen rMV und Bewegung, die sowohl auf den experimentellen Daten aus der Anwendung von rMV als auch auf den Erkenntnissen der Neurophysiologie beruht.

Zusammenfassend kann man sagen, dass einige Punkte in den verschiedenen Forschungsarbeiten über rMV relevant erscheinen:

- ✓ **Die rMV ist ein nicht-invasives Protokoll, das auf einer Vibration mit besonders niedriger Amplitude** basiert. Die Stimulation scheint **ab einem Alter von 4 Jahren** vollständig tolerierbar und einfach anzuwenden zu sein, obwohl sie auf einem sehr strengen Regelwerk beruht. Auch die Vibrationsparameter müssen völlig konstant sein, und kleine Abweichungen können die Ergebnisse zunichte machen, so dass das Instrumentarium aus technischer Sicht fast unveränderlich ist.
- ✓ Die rMV ist nicht von der Rehabilitation zu trennen, sie ist lediglich ein Verfahren, das der Rehabilitation neue Türen öffnen soll, indem es durch direkte Einwirkung auf das zentrale Nervensystem die Kontrolle der Gelenksteifigkeit verbessert. Eine spezifische und gezielte Rehabilitation sollte das Erreichte optimal nutzen. Nachfolgende Interventionen bei einem Patienten mit rMV sollten gemeinsam mit den Therapeuten festgelegt oder besser noch von den Therapeuten selbst nach dem festgelegten Therapieplan durchgeführt werden.
- ✓ Die rMV beweist, was die Rehabilitation seit langem behauptet, nämlich dass Chronizität nicht das Ende der Besserung bedeutet. Wichtige Ergebnisse, oft die auf Konferenzen auf Video gezeigt wurden, wurden mehr als 10 Jahre nach der Verletzung aufgenommen.
- ✓ rMV stellt für die Physiotherapie **eine Chance** dar, **in Bereiche vorzudringen, die heute fast verlassen sind: über 80-Jährige**, chronische neurologische Verletzungen.

## Kapitel 7

### POSITIVE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

Das Muskel-Skelett-System ist eine komplexe biologische Maschine, die für die menschliche Fortbewegung verantwortlich ist. Um die verschiedenen funktionellen Anforderungen zu erfüllen und zu realisieren, verändert dieses System ständig seine Struktur und seinen Stoffwechsel und reagiert auf den Gebrauch mit Veränderungen in Form und Kraft. Die beiden Systeme sind so konzipiert, dass sie denselben Spannungen standhalten können, denen die Knochenstruktur ausgesetzt ist.

Die ständige "Überlastung" (Bewegung des Körpers) bietet einen biologischen Anreiz durch strukturelle und metabolische Faktoren, die das Gewebe, sowohl Knochen als auch Muskeln, innerhalb einer funktionellen Sicherheitsgrenze halten. Längere Bettruhe oder verletzungsbedingte Ruhigstellung können die Strukturen so weit schwächen, dass die Funktion eingeschränkt wird. Einige häufige Krankheiten wie Osteoporose oder Myositis führen zu einer qualitativen und quantitativen Schwächung der Knochen- und Muskelstrukturen und damit zu einer Degeneration, die sich in klinischen Symptomen äußert. Wenn die täglichen Belastungen drastisch reduziert werden, kommt es zu einer bemerkenswerten Muskelatrophie, deren Halbwertszeit etwa 8-10 Tage beträgt, mit einem selektiven Abbau der Proteinstruktur, die die kontraktile Komponente des Muskels bildet, insbesondere auf Kosten der langsamen Fasern. Dies ist die Hauptursache für die Funktionsstörung und den Kraftverlust sowohl der Knochen als auch der Muskeln mit zunehmendem Alter.

Es hat sich gezeigt, dass Übungen von kurzer Dauer, aber sehr hoher Intensität, positive Auswirkungen auf die Knochen-Muskel- und Gelenkstrukturen haben, so dass sowohl die Masse als auch die Kraft als Reaktion auf diese zyklischen Anstrengungen auf einem hohen Niveau gehalten werden. Der Mensch ist jedoch normalerweise sesshaft, vor allem im Alter. Und oft beschränkt sich seine körperliche Aktivität auf die einfache Fortbewegung für die normalen täglichen Aufgaben. **Die tägliche Bewegung des Menschen stellt den minimalen mechanischen Reiz dar, der einen grundlegenden Muskeltonus gewährleistet. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass alte Menschen viel zu Fuß gehen.** Dieser Anreiz, der im Allgemeinen zur Überwindung der Schwerkraft erforderlich ist, **reicht kaum aus, um die Knochen vor Brüchen zu schützen.** In der Tat wird bei der Fortbewegung beim Aufprall auf den Boden eine Reihe Stoßwellen erzeugt, die sich auf den gesamten Körper übertragen. Diese Schwingungen werden über den Fuß, das Bein, die Wirbelsäule und den Nacken übertragen. Dies ist ein starker Anreiz für die

Knochenbildung während des menschlichen Lebens. Leider ist **die moderne Auffassung**

**von Leben begrenzt stark die Aktivität**  
**Bewegung,** mit eine starke Zunahme <sup>24</sup>

der Hypokinese, was sich negativ auf den Bewegungsapparat auswirkt. Um den Bewegungsmangel auszugleichen, werden verschiedene

der



Projekte, die die Bevölkerung zu mehr körperlicher Betätigung anregen und veranlassen sollen finden aufgrund mangelnder Ausrüstung und eines falschen Lebensstils leider nicht statt. Oder es geschieht in sehr geringem Umfang. Oft reicht es nicht aus, um Risiken zu vermeiden.

Dabei **hat die Forschung gezeigt, dass mechanische Vibrationen einen starken Reiz für den gesamten Organismus und insbesondere für das neuromuskuläre und das Skelettsystem darstellen. Im Folgenden finden Sie eine Zusammenfassung der wichtigsten positiven Wirkungen der mechanischen Vibration, die in den letzten 40 Jahren von der wissenschaftlichen Forschung festgestellt wurden.**

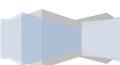
## 7.1 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DEN HORMONHAUSHALT

Es ist seit langem bekannt, dass es eine Beziehung zwischen der ausgeübten Sportart und dem Hormonprofil des Sportlers gibt. Wiederholte sportliche Betätigung ist in der Tat in der Lage, eine signifikante hormonelle Reaktion hervorzurufen, nicht nur in Bezug auf die Anpassung an die sportliche Betätigung selbst, sondern auch in Form einer langfristigen Reaktion auf diese.

In ähnlicher Weise kann die Einwirkung mechanischer Vibrationen auf den menschlichen Körper **eine adaptive hormonelle Reaktion** hervorrufen, die beispielsweise zu **Anstieg der Plasmakonzentration Testosteron (T) und Wachstumshormon (GH)** und gleichzeitig zu einem **Rückgang der Konzentration von Cortisol (C)** führt. **Der Anstieg von T und GH ist auf die Wirkung von Muskel-Metarezeptoren** zurückzuführen, während der Rückgang von C wahrscheinlich auf eine unzureichende stimulierende Wirkung der zentralen motorischen Steuerung und der nervösen Rückkopplung in den Skelettmuskeln zurückzuführen ist.

Wie in einer Studie von Prof. Carmelo Bosco (2000) berichtet wird, **geht die Veränderung der Konzentration dieser Hormone auch mit einem Anstieg der mechanischen Kraft der Muskeln einher, die der Vibration ausgesetzt sind**, was zu Hypothese führt, dass die beiden Phänomene zwar unabhängig auftreten, ihnen aber möglicherweise gemeinsame Mechanismen zugrunde liegen.

**Unter den Hormonen, deren Sekretion durch mechanische Vibrationen stark stimuliert wird, ist zunächst Serotonin (5-Hydroxytryptamin) zu nennen**, ein biogenes Amin, das aus der Decarboxylierung von 5-Hydroxytryptophan entsteht. Serotonin wird von den enterocromaffinen Zellen der Darmschleimhaut produziert und ist im Nervensystem, in der glatten Muskulatur und in den Blutplättchen vorhanden. Es ist ein starker Vasokonstriktor lokal und hat eine allgemeine blutdrucksenkende Wirkung, spielt aber auch eine wichtige Rolle bei Blutstillung und Förderung der Reparatur verletzter Gefäße.



Vibrationen stimulieren auch die **Produktion von Neurotrophinen**, einer Familie von Proteinen, zu der auch NGF gehört, die **den natürlichen Zelltod von Neuronen während der Entwicklung regulieren**. **Neurotrophine** sind auch **in der Lage, das Überleben verschiedener Populationen von Neuronen in vitro zu stimulieren**.

**Endorphine**, opioide Neuropeptide, die die analgetische Wirkung und die Verhaltenseffekte von Morphin nachahmen (morphinähnliche Wirkung), **werden ebenfalls stark durch Vibrationsexposition stimuliert**.

Schließlich sei daran erinnert, dass **Vibrationen die Sekretion von IGF-I oder Somatomedin C stimulieren, einem der beiden Polypeptid-Wachstumsfaktoren** (der zweite IGF-II), der aus Molekülen besteht, die aus 70 Aminosäuren bestehen und zu 45 % Insulin verwandt sind. **Die physiologische Aufgabe von IGF-I besteht darin, die Wirkung des Wachstumshormons zu vermitteln und die Entwicklung des Skeletts zu fördern**.

## 7.2 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATION AUF SYSTEM SKELETTMUSKELSYSTEM

Bei der Fortbewegung wird beim Aufprall auf den Boden ein Wellenzug erzeugt, der über den Fuß, das Bein, die Wirbelsäule und den Nacken auf den gesamten Körper übertragen wird. Dieser Wellenzug stellt einen starken Reiz für den gesamten Organismus dar, insbesondere für das Muskel-Skelett-System, da er die minimale mechanische Stimulation darstellt, die die Aufrechterhaltung des Grundmuskeltonus gewährleistet. Tatsächlich interagieren und reagieren Muskeln und Knochen ständig unter der Einwirkung einer konstanten Last, die durch das Körpergewicht dargestellt wird.

Fällt diese tägliche Belastung weg, z. B. durch längere Bettlägerigkeit oder verletzungsbedingte Ruhigstellung, können die Strukturen so weit geschwächt werden, dass ihre Funktionen eingeschränkt werden und es insbesondere zu Muskelschwund kommt.

**Die Anwendung von mechanischen Vibrationen hoher Intensität und kurzer Dauer hat nachweislich positive Auswirkungen auf die Knochen-, Muskel- und Gelenkstruktur, so dass sowohl die Gewebemasse als auch die Kraft auf einem hohen Niveau gehalten werden, was zu einem geringeren Muskel- und Knochenverlust führt** <sup>32</sup>.

Diese Veränderungen in der neuromuskulären Reaktion sind hauptsächlich auf die **Aktivität der oberen motorischen Zentren** und die deutliche Verbesserung von zurückzuführen (26).  
Nervenbefehle, die die neuromuskuläre Reaktion regulieren.



**Mechanische Schwingungen, die lokal auf die Muskel- und/oder Sehnenstruktur einwirken (40 Hz), bewirken die Aktivierung der neuromuskulären Spindelrezeptoren (Muskelspindelrezeptoren) auf der Ebene des direkt belasteten Muskel-Sehnen-Komplexes, aber auch der angrenzenden Muskelgruppen.**

**Diese Art der Reaktion des Muskels auf Vibrationsbelastungen wird als "tonischer Vibrationsreflex" (RTV) bezeichnet.**

Es ist wissenschaftlich belegt, dass RTV eine Erhöhung der kontraktile Kraft der beteiligten Muskelgruppen bewirkt, was zu einer deutlichen Veränderung sowohl der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung als auch der Kraft-Leistungs-Beziehung führt <sup>33</sup>.

Das Vibrationstraining kann somit mit einer Abfolge von Kontraktionen mit geringer Amplitude verglichen werden, die zu bescheidenen, aber signifikanten rhythmischen Veränderungen der Länge des Muskel-Sehnen-Komplexes führen, der der Vibration ausgesetzt ist. Dieses besondere mechanische Verhalten führt zu einer Erleichterung der Erregbarkeit des spinalen Reflexes.

In diesem Zusammenhang **haben einige Studien vorgeschlagen, dass die RTV überwiegend, wenn nicht ausschließlich, durch Alpha-Motorneuronen funktioniert** und nicht die gleichen efferenten kortikalen Muster wie die willkürliche Bewegung verwendet. **Es ist jedoch auch möglich, dass RTV, ausgelöst durch die Vibrationen selbst, durch eine Aktivierung neuromuskulärer Spindeln und polysynaptischer Aktivierungsmuster eine verstärkte Rekrutierung motorischer Einheiten bewirkt** <sup>34</sup>.

### 7.3 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DAS KNOCHENGEWEBE

Das Skelettsystem erfüllt im Wesentlichen drei Funktionen:

- Die erste besteht darin, die Muskeln und Sehnen mechanisch zu unterstützen, damit die Bewegung möglich ist;
- die zweite ist der Schutz lebenswichtiger Organe;
- und drittens die Bereitstellung einer organischen Kalziumreserve zur Stabilisierung der Kalzämie.

Aus diesen Gründen stellt das Skelett in jedem biologischen Alter keine träge Masse dar, sondern ist Gegenteil ein plastisches Gebilde, das sich ständig erneuert: man denke nur an den Prozess des Knochenumbaus während des Wachstums oder an die Notwendigkeit geeigneter Reparationsphänomene im Falle eines Bruchs, ohne dabei die Rolle der Reserve zu vergessen organisches Kalzium.

Das plastische Verhalten wird durch zwei sehr spezifische physiologische Phänomene gesteuert:

- Osteoreaktivität, die von Osteoklasten bereitgestellt wird;



- Osteobildung, die Aktivität der Osteoblasten zurückzuführen ist.

Die Beziehung zwischen diesen beiden Phänomenen, die physiologisch antagonistisch zueinander sind, führt zur möglichen Erhaltung, zum Verlust oder zum Erwerb von Knochenmasse.

Es ist seit langem bekannt, dass der mechanische Faktor eine entscheidende Rolle bei der dynamischen Steuerung des Knochenumbaus spielt und die Anpassung der Knochenstruktur an Belastungen ermöglicht. Aus diesem Grund kann Rückgang der mechanischen Belastung des Skeletts ein ernsthaftes Problem für die Erhaltung der Knochenmasse darstellen. So **kann beispielsweise die Ruhigstellung durch Gipsverbände die Ursache für einen bedeutenden und raschen Knochenverlust sein, der bei Erwachsenen leicht reversibel, bei geriatrischen Patienten jedoch weitgehend definitiv ist.**

Die Mechanismen, durch die körperliche Aktivität den Knochenumbauprozess positiv beeinflussen kann, sind relativ komplex. Aus zellulärer Sicht scheint es so zu sein, dass nur die Osteoblasten mit Mechanorezeptoren ausgestattet sind und dass sie aus diesem Grund in der Lage sind, positiv auf eine Zunahme der Druckkräfte zu reagieren. Aus demselben physiologischen Grund kann eine Verringerung dieser Kräfte die Aktivität der Osteoblasten verringern, so dass der Knochenabbauprozess unverändert bleibt.

Die offensichtliche Verbesserung der Muskelfunktion, die durch die Verabreichung von Vibrationsbehandlungen hervorgerufen wird, führt zu einer sehr effektiven Beanspruchung der biologischen Funktionen der Knochen, auf denen sie platziert sind; tatsächlich steht die vom Muskelgewebe erzeugte Kraft in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Knochenmasse und ihrer Fähigkeit, mechanischen Widerstand zu leisten.

Eine Knochenstruktur, die einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt ist, wie dies bei intensivem Training der Fall ist, ist in der Lage, den Mechanismus des Knochenumbaus zu unterdrücken, wodurch der konservative Prozess erleichtert wird. Es hat sich jedoch gezeigt, dass nur intensives und langes Training die Knochenmineraldichte (BMD) positiv beeinflusst. Die Wirksamkeit der Muskelbelastung zeigt sich vor allem an der Querachse, die am schwächsten und daher am anfälligsten für Frakturen ist.

Aufgrund ihrer hohen Intensität und Dauer sind körperliche Übungen für ältere Menschen oder Personen mit Knochenbrüchen nicht gut geeignet.

Die Anwendung von Vibrationen hingegen ermöglicht eine intensive Beanspruchung des Skelett- und Muskelapparates, ohne ein hohes Maß an Engagement seitens Patienten zu erfordern, und erweist sich daher in bestimmten Fällen als besonders geeignete Interventionsstrategie. Auch wenn si

studiert eine Erklärung eindeutig und klar der

28

Phänomen, **die Wirkung mechanischer Vibrationen auf die Mechanismen von**  
**Der Knochenumbau ist offensichtlich und wurde in vielen klinischen Studien an Patienten festgestellt.**



**die an Knochenbrüchen oder Osteoporose leiden.** In beiden Fällen zeigte sich bei den mit Vibrationstherapie behandelten Personen eine echte Verstärkung der <sup>osteogenen</sup> **Aktivität<sup>35</sup>** .

**Die Anwendung der Vibrationstherapie ist also in der Lage, den Knochenstoffwechsel auch bei Vorliegen einer osteoporotischen Degeneration positiv zu beeinflussen,** und angesichts des Nachweises, dass die Vibrationstherapie einen Anstieg der BMD fördern kann **festgestellt werden, dass sie in der Geriatrie ein therapeutisches Mittel der Wahl im Rahmen der Therapien zur Behandlung und Vorbeugung von Osteoporose** darstellt.

Osteoporose ist eine metabolische Osteopathie mit komplexer Ätiologie, die durch einen lokalen oder allgemeinen Rückgang des Knochengewebes gekennzeichnet ist, dessen osteoide Matrix infolge eines Ungleichgewichts zwischen der Geschwindigkeit der Synthese und der Geschwindigkeit des Abbaus bei normaler Mineralisierung quantitativ reduziert ist. Bei der radiologischen Untersuchung sind Knochenverdünnung, Ausdünnung und numerische Reduktion der Trabekel sowie eine Vergrößerung der Markräume sichtbar. Es wird zwischen einer senilen und postmenopausalen Form und einer Form unterschieden, die längere Immobilisierung oder endokrine Störungen zurückzuführen ist. Vor allem bei Frauen führt das Östrogendefizit in den Wechseljahren zu einem beschleunigten Knochenumsatz und einem Verlust an Knochenmasse, weshalb jede vierte Frau an Osteoporose erkrankt, während es bei den Männern nur jeder achte ist. **Angesichts des progressiven Anstiegs des Durchschnittsalters der Bevölkerung hat die Osteoporose inzwischen Dimension eines echten sozioökonomischen Problems angenommen, von dem (nicht nur) die ältere Bevölkerung weltweit betroffen ist.** Allein in Italien belaufen sich die sozialen Kosten dieser Krankheit auf fünfhundert Millionen Euro pro Jahr. **Für Osteoporose-Patienten wird Bewegung dringend empfohlen,** sowohl als Teil der Behandlung als auch **als präventive Therapieform.** Die physiologische **mechanische Stimulation durch Bewegung** erweist sich nämlich **als besonders nützlich, um sowohl den Knochenschwund zu begrenzen als auch eine Zunahme der Knochenmasse anzuregen.** Osteoporose geht nämlich mit einer erhöhten Anfälligkeit für Knochenbrüche einher.

Gerade wegen ihrer Wirkung auf Osteoporosepatienten ist die mechanische Vibration auch (und vor allem) bei Patienten mit Frakturen der oberen und unteren Gliedmaßen mit erstaunlichen Ergebnissen anwendbar. Die Vibration führt nämlich zu einer Beschleunigung des Knochenwachstums, die es ermöglicht, den gebrochenen Knochen in extrem kurzer Zeit zu verschweißen, mit offensichtlichen klinisch-ökonomischen Vorteilen vor allem für den Patienten, aber auch für das nationale Gesundheitswesen. Es sei darauf hingewiesen, dass die Inzidenz von Hüftfrakturen aufgrund von einfachen Stürzen in der Bevölkerung

älteren Menschen, Zahlen in der Größenordnung von 90 %, ohne Berücksichtigung der sogenannten Hüftfrakturen, die durch

durch Knochenabbau aufgrund von Osteoporose allein, so dass die Vibration in diesem Fall von großer Bedeutung und Nützlichkeit ist <sup>36</sup>.



## 7.4 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF ÄLTERE MENSCHEN

Bei älteren Menschen nehmen die Mechanorezeptoren auf der Ebene der Osteoblasten, die normalerweise auf eine Zunahme der einwirkenden Kräfte reagieren, bei gleicher Gesamtbelastung ab; dadurch wird die osteoblastische Aktivität zunehmend von der osteoklastischen Aktivität getrennt, was eine Kaskade physiologischer Phänomene auslöst, die zu einem mehr oder weniger starken Verlust an Knochenmasse führen.

Außerdem ist allgemein bekannt, dass der Alterungsprozess zu einer fortschreitenden Sesshaftigkeit des Menschen und zu **verschiedenen Krankheiten** führt, darunter (wie bereits erwähnt) **Osteoporose**.

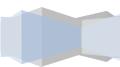
Die Fähigkeit der rMV, auf die Ko-Kontraktionskontrolle einzuwirken, hat zwei scheinbar gegensätzliche Interventionsbereiche nahegelegt, die jedoch in Wirklichkeit einen gemeinsamen Nenner haben, nämlich eine veränderte Gelenkkontrolle: **die Instabilität älterer Menschen und neurologische Bilder, die durch Spastizität gekennzeichnet sind.**

Eine schlechte Gelenkkontrolle bei Spastizität zeigt sich im Wesentlichen in einem Ungleichgewicht zwischen Agonisten und Antagonisten und in Dyssynergie. **Bei älteren Menschen spielt eine schlechte Gelenkkontrolle sicherlich eine wichtige Rolle beim Verlust der Stabilität und der verminderten Kraft.** Insbesondere der Stabilitätsverlust ist von großer Bedeutung, da **das Problem der Stürze enorme soziale Kosten verursacht:** Allein die daraus resultierenden **Oberschenkelbrüche** verursachen jedes Jahr mehr als **eine Milliarde Euro** an direkten und indirekten Kosten und den **Tod von mehr als 16.000 über 65-Jährigen pro Jahr**. Außerdem ist das Bild der Instabilität bei älteren Menschen ein typischer Teufelskreis, der durch Stürze noch beschleunigt wird. Der Betroffene fühlt sich schwach und instabil, so dass er seine körperliche Aktivität und auch seine täglichen Aktivitäten einschränkt. Durch diese Reduzierung werden Müdigkeit und Instabilität noch verstärkt, und der Kreis schließt sich.

Lange Zeit wurde versucht, dieses Defizit auszugleichen, indem man versuchte, die Kraft des Probanden auch durch ein Training mit hoher Belastung zu steigern, was jedoch für ältere Menschen kaum akzeptabel ist. In jüngerer Zeit wurde jedoch nachgewiesen, welche Rolle die Ko-Kontraktionen bei älteren Menschen spielen und welcher Verlust an propriozeptiver Kontrolle dabei auftritt. **Der Verlust der Kontrolle (also mehr als der Verlust der Kraft) veranlasst ältere Menschen dazu, sich zu versteifen und verstärkt auf Ko-Kontraktionen zurückzugreifen** <sup>37</sup>. **Man kann paradoxerweise sagen, dass der ältere Mensch Kraft als mit Gleichgewicht steht.**

Die erste Studie über die Auswirkungen der rMV-Behandlung auf ältere Menschen wurde in der der Universität Perugia, in Zusammenarbeit mit Katholischen Universität und der Universität Sapienza in Rom.

Auch in dieser Studie, die <sup>200438</sup> in vorläufiger Form vorgestellt wurde und jetzt in Eur J Appl Physiol überprüft wird, wurde eine Doppelblindstudie durchgeführt, bei der sowohl rMV als auch ein



Falsche Stimulation, der **Quadrizeps von Frauen über 60 Jahren** wurde stimuliert. Die Patientinnen erhielten **nur eine rMV-Behandlung**, und keine von ihnen nahm vor der Behandlung und während des Studienzeitraums (90 Tage) an Programmen zur körperlichen Betätigung teil.

Auch hier waren 24 Stunden nach Ende der Behandlung die untersuchten Indizes (Sprungkraft und Körperschwankung in monopodaler Haltung) signifikant verbessert, und **in den folgenden 90 Tagen verstärkte sich die Verbesserung, wobei bis zum 90. Tag der Studie eine Steigerung der Beinkraft um etwa 35 % und der Stabilität um etwa 40 % erreicht und beibehalten wurde.**

Die lange Aufrechterhaltung der Ergebnisse wurde in diesem Fall auf die Konsolidierung der plastischen Effekte durch die spontane Zunahme einfacher Alltagsaktivitäten zurückgeführt. **Die Studienteilnehmer, die mit rMV behandelt wurden** (in den beiden anderen Gruppen wurde kein Effekt beobachtet), **berichteten**, obwohl sie kein spezifisches Training durchführten, **alle, dass sie sich im Laufe des Tages weniger müde und leichter bewegten, um einzukaufen, das Haus zu putzen, Treppen zu steigen**, usw. Das Bild deutet darauf hin, dass rMV den beschriebenen Teufelskreis durchbrochen hat, indem es die Verstärkung und Aufrechterhaltung der plastischen Effekte durch Konsolidierung begünstigt hat.

Diese Studie bestätigte nicht nur die von Marconi und Mitarbeitern formulierten Hypothesen, sondern zeigte auch eine **deutliche Zunahme der Beinkraft**. Letzteres lässt sich durch eine verbesserte Gelenkstabilität und verringerte Ko-Kontraktionen erklären, aber es wurde die Frage aufgeworfen, ob auch eine verbesserte **Rekrutierung der motorischen Einheiten** vorliegen könnte.

**Die letztgenannte Hypothese wurde** durch eine neue Studie mit TMS **bestätigt**, die ebenfalls von der Gruppe von Dr. Marconi durchgeführt wurde und derzeit ausgearbeitet wird.

Probanden über 65, die sich einer rMV unterziehen, zeigen eine erhebliche Schwellenverringering in den neuronalen Populationen, die den Quadrizeps kontrollieren, parallel zu einer Zunahme der intrakortikalen Hemmung und der reziproken Erleichterung der Beinbeuger. Die Verbesserung dieser drei Parameter, die sich typischerweise Alter verschlechtern, und ihre anhaltende Verbesserung für mindestens einen Monat (bei älteren Personen ist die TMS sehr unangenehm und es können nicht viele Tests durchgeführt werden), belegen eine Gegenwirkung der rMV gegen die für das Altern typische motorische Verschlechterung. Gleichzeitig gibt es Hinweise darauf, dass diese Verschlechterung keineswegs unumkehrbar ist und dass im Gegenteil sogar im Zentralnervensystem älterer Menschen erhebliche plastische Reserven vorhanden sind.



## 7.5 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATION AUF FETTLLEIBIGKEIT UND OSTEOPOROSE

Aus den jüngsten Studien von Prof. C. Rubin (2009) geht hervor, wie mechanische niedriger Frequenz (LMMS) **das Wachstum von subkutanem und viszeralem Fett unterdrücken** und gleichzeitig die **Knochenregeneration** fördern können. Diese Prozesse finden dank der direkten **Stimulierung pluripotenter mesenchymaler Stammzellen (MSC)** durch mechanische Signale statt. Bei diesen Zellen handelt es sich um unreife Zellen mit der Fähigkeit zur Selbsterneuerung und kontinuierlichen Differenzierung in gewebespezifische Zellen. **Tatsächlich gehen von diesen Zellen** vielen anderen Differenzierungswegen auch **die Osteoblastogenese und die Adipogenese aus**, die zur **Bildung von Osteoblasten bzw. Adipozyten** führen.

Die mechanische Stimulation von MSZ aktiviert die Osteoblastogenese direkt proportional und die Adipogenese indirekt proportional durch die Aktivierung der Transkriptionsfaktoren Runx2 für Osteoblasten, die die Differenzierung fördern, und des PPAR $\gamma$ -Faktors für Adipozyten, der sie unterdrückt. **Auf diese Weise könnte diese Methode eine sichere, nicht-invasive und nicht-pharmakologische Strategie zur Vorbeugung von Fettleibigkeit und sogar Osteoporose darstellen** <sup>39</sup>.

Gerade im Hinblick auf die letztgenannte Pathologie wurde kürzlich eine Studie (Foti C, Annino G, Bosco C et al., 2009)<sup>40</sup> an einer Gruppe osteoporotischer Frauen durchgeführt, um die positiven Auswirkungen einer Vibrationsbehandlung in Kombination mit körperlicher Aktivität aufzuzeigen. An dieser Studie nahmen 26 Frauen im Alter von 63 Jahren teil, die an dieser Pathologie leiden. Sie wurden in zwei Gruppen eingeteilt, eine Kontroll- und eine Versuchsgruppe. Alle nahmen vier Monate lang dreimal wöchentlich eine Stunde lang an einem Trainingsprogramm teil, und nur die Versuchsgruppe wurde im Anschluss an das Training mit Vibrationen niedriger Intensität bei einer Frequenz von 30 Hz behandelt. Am Ende der Studie zeigte sich in der Versuchsgruppe eine Zunahme der Knochendichte, während in der Kontrollgruppe keine signifikanten Veränderungen festzustellen waren. Es wurde somit nachgewiesen, dass **diese Methode** in Verbindung körperlicher Aktivität **eine starke, nicht invasive und die einzige nicht-pharmakologische Intervention zur Behandlung von Osteoporose darstellt**.

## 7.6 DIE WIRKUNG VON VIBRATIONEN IN DER SCHMERZTHERAPIE

Die schmerzlindernde Wirkung der Vibrationen beruht auf der bereits 1965 von Melzack und Wall aufgestellten Theorie der "Gangkontrolle", auf der auch die wissenschaftliche Begründung der TENS-Ströme (Transkutane Elektrische Nervenstimulation) beruht. Genauso wie bei der Verwendung von



der TENS würden die Vibrationen auch Art afferentes "Sperrfeuer" entlang der myelinisierten Fasern vom Typ Ia erzeugen, und zwar in einer solchen Intensität, dass man von einem echten "Busy-Line"-Effekt sprechen könnte <sup>41</sup>.

Sowohl aus klinischer als auch aus experimenteller Sicht scheint es gerechtfertigt zu sein, zu behaupten, dass die Vibration eine neurophysiologische Wirkung hat, aber nur eine segmentale. Diese Behauptung wird außerdem durch die Schnelligkeit, die analgetische Wirkung registriert wird, und durch ihren ebenso schnellen Rückgang gestützt, Faktoren, die für die "reine" segmentale Hemmung der Ia-Afferenzen durch die Vibrationen im Hinblick auf die Übertragung des nozizeptiven Inputs sprechen <sup>42</sup>.

Vibrationen, Wärme- und Kälteanwendungen sowie elektrische Ströme sind in der Literatur die am häufigsten genannten Methoden zur peripheren Stimulation zu antalgischen Zwecken <sup>43</sup>, obwohl Vibrationen unter diesen Methoden die am wenigsten verwendete zu sein scheint. In der Bibliographie kann man nachlesen, wie Vibrationen im Wesentlichen zu antalgischen Zwecken bei Schmerzen des Schädels <sup>44</sup>, bei Schmerzen des Bewegungsapparats <sup>45 46 47</sup>, bei bestimmten Schmerzpathologien neurogenen Ursprungs und bei Schmerzen im unteren Rückenbereich <sup>48 49</sup> eingesetzt wurden.

Die Dauer der Anwendung von Vibrationen, die zu analgetischen Zwecken eingesetzt werden, variiert je nach den verschiedenen experimentellen Arbeitsprotokollen zwischen 5 und 30 Minuten, während der Frequenzwert, der allgemein als am wirksamsten für diesen Zweck angesehen wird, bei etwa 100 Hz liegt. Im Allgemeinen sieht die Anwendungstechnik vor, dass die Vibration homolateral auf dem Dermatome, auf dem die Schmerzstelle registriert wird, durchgeführt wird, indem ein bestimmter Druck mit dem Vibrationsgerät ausgeübt wird. Nach 5 Minuten Vibrationsanwendung verschwindet der Schmerz oder lässt zumindest merklich nach, um dann 5-10 Minuten nach Ende der Anwendung wieder aufzutreten. Dauert die Vibrationsanwendung dagegen 30 Minuten, kann die schmerzstillende Wirkung bis zu 5 Stunden anhalten <sup>50 51</sup>. **Interessant** ist auch, dass **bei Kreuzschmerzen mittlerer Intensität**, die nicht mit einer Wurzelkompression einhergehen, **die Anwendung von Vibrationen** mit einer Frequenz von **100 Hz** und einer Amplitude von 1,5 mm mit Hilfe eines **auf der Achillessehne positionierten Vibrationszylinders die Schmerzintensität in kurzer Zeit drastisch reduzieren** kann<sup>52</sup>.

## 7.7 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATION AUF DEN BLUTKREISLAUF

Die Anwendung mechanischer Vibrationen auf den Körper führt auch zu einer Steigerung der Blutzirkulation, wobei sich die durchschnittliche Geschwindigkeit des Blutflusses erhöht und erhebliche Senkung des Resistance Index, gemessen durch Doppler-Untersuchungen.



Da jedoch kein Anstieg der maximalen Geschwindigkeit innerhalb des einzelnen Gefäßes festgestellt wurde, ist es möglich, dass der Anstieg der durchschnittlichen Geschwindigkeit auf die Erweiterung kleinerer Blutgefäße zurückzuführen ist, wodurch der periphere Widerstand verringert wird.

**Diese Steigerung der Durchblutung wirkt sich positiv auf den Stoffwechsel und die Sauerstoffversorgung des Gewebes aus und hilft, den Blutdruck zu senken.**

**Daher eignen sich die Vibrationen besonders bei Durchblutungsstörungen wie Arteriosklerose oder schlechtem Lymphabfluss.**



## Kapitel 8

### FORSCHUNG UND ANWENDUNG MECHANISCHER SCHWINGUNGEN DURCH ITALIENISCHE UNIVERSITÄTEN

Der Bericht über den Kongress vom 13. Dezember 2008 erschien auf  
"PagineMediche.it".

#### EINFACHE, WIEDERHOLTE MECHANISCHE VIBRATIONEN STEIGERN DIE GEHIRNFUNKTION UND VERBESSERN DIE MUSKEL- UND GELENKKONTROLLE <sup>53</sup>

In der Dezember-Ausgabe des Journal of Neurological Science werden neue und ermutigende Ergebnisse eines Verfahrens namens "rMN" (Repeated Muscle Vibration) veröffentlicht, die in den Bereichen Neurologie, Orthopädie, Stabilität bei älteren Menschen und Erholung von Ermüdung bei gesunden Personen erzielt wurden. Die Studien wurden von Forschern des Instituts für Humanphysiologie der Katholischen Universität Rom in Zusammenarbeit mit der Stiftung Santa Lucia und EBRI, der Universität Perugia und der Universität La Sapienza in Rom durchgeführt.

Die physiologischen Grundlagen und Ergebnisse des Verfahrens wurden auf dem wissenschaftlichen Seminar mit dem Titel "Propriozeptive Stimulation, Kontrolle und motorische Rehabilitation. Neue klinische Erkenntnisse und neurophysiologische Korrelate" vorgestellt, das am Samstag, den 13. Dezember 2008, in der Poliklinik der Universität Agostino Gemelli stattfand und von dem katholischen Physiologen Guido Maria Filippi geleitet wurde. Zu den Referenten gehörten: Prof. Vito Enrico Pettorossi (Institut für Humanphysiologie, Universität Perugia); Dr. Filippo Camerota (Institut für Physikalische Medizin und Rehabilitation, Universität La Sapienza, Rom); Dr. Diego Ricciardi (Abteilung für gerontologische und geriatrische Wissenschaften - Policlinico Gemelli, Rom).

Das Protokoll basiert auf einem speziellen Gerät, das eine Abfolge von mechanischen Signalen mit sehr geringer Amplitude erzeugt, die von speziellen Nervensensoren in den Muskeln gelesen und an das zentrale Nervensystem gesendet werden. Was wie eine kleine mechanische Vibration aussieht, ist in Wirklichkeit ein Code, der ausgewählte Bereiche des Nervensystems umprogrammieren kann. Dieses Verfahren ist das erste, das auf einfache, nicht invasive und dauerhafte Weise auf die Nervensteuerung der Muskeln einwirkt. Dank der von Dr. Barbara Marconi (Stiftung Santa Lucia und EBRI) und Prof. Guido M. Filippi (Katholische Universität) durchgeführten Studien ist diese Stimulation in der Lage, die Funktion bestimmter kortikaler Bereiche des Nervensystems zu verändern.

motorische Kontrolle, die Mechanismen aktiviert, die eine deutliche Verbesserung der motorischen Funktionen. 35

Diese Ergebnisse (die jetzt im Journal of Neurological Sciences veröffentlicht wurden) wurden von der



Die Forscher Marconi und Filippi untersuchten dies bei gesunden Personen, bei Patienten mit chronischen Schlaganfallfolgen (Spastizität), auch Jahre nach der Verletzung und bei Personen über 70 Jahren. Dies ist der erste experimentelle Beweis für die Existenz einer solchen Möglichkeit, die zudem mit einem einfachen, nicht-invasiven und im Wesentlichen nebenwirkungsfreien Verfahren erreicht werden kann. Das auf lokalisierten Mikrovibrationen basierende Verfahren, dem die Forscher den Namen "rMV", Repeated Muscle Vibration, gegeben haben, wurde von Professor Filippi, Dozent am Institut für Humanphysiologie der Katholischen Universität Rom, entwickelt. Die Anwendung bestimmter Sequenzen mikromechanischer Vibrationen auf bestimmte Muskeln des Körpers ist in der Lage, die Funktionen bestimmter Bereiche des Gehirns zu steigern und die Muskelfunktion zu verbessern.

### **Das Protokoll**

Dieses sehr einfach durchzuführende Verfahren (das Protokoll sieht vor, die Mikrovibration dreimal täglich für jeweils 10 Minuten an drei aufeinander folgenden Tagen auf die einzelnen Muskeln, auf die man einwirken möchte, anzuwenden) hat sich als fähig erwiesen, positive und überraschende Wirkungen in einer Vielzahl von Situationen zu erzielen: im neurologischen Bereich, bei der Rehabilitation nach Schlaganfall, bei Spastizität und Schläffheit, bei der Kontrolle von Müdigkeit und Schmerzen sowie der Kraft bei sturzgefährdeten älteren Menschen und bei orthopädischen Pathologien.

Diese Stärkung ist "langfristig", da sie nach einer minutenlangen Stimulation über Wochen und Monate anhält. Die anschließende Nutzung dieser Verstärkung (Physiotherapie, Training) konsolidiert, verstärkt und erhält die Wirkung über Monate, in manchen Fällen über viele Monate.

### **Ergebnisse in der Neurologie, Orthopädie, bei älteren Menschen und gesunden Probanden**

Insbesondere im neurologischen Bereich hat sich auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Daten gezeigt, dass die rMV die motorische Kontrolle über das, was von einer neurologischen Läsion übrig geblieben ist, bei Personen verbessert, die noch eine minimale Restmotilität haben. Auch bei Personen mit spastischen Formen (nach einem oder Trauma), aber mit verbleibenden willkürlichen Bewegungen, sind die Verbesserungen signifikant.

Im orthopädischen Bereich hat sich das Verfahren als sehr wirksam erwiesen, wenn Ruhigstellung, Nachoperationen oder Gelenkschmerzen zu einer schlechten Nutzung der Muskeln führen. So haben erste Studien, die am Policlinico Gemelli in Rom durchgeführt wurden, gezeigt, dass die Schmerzen bei schweren Arthrosepatienten bereits 2 Wochen nach der Behandlung um bis zu 50 % zurückgegangen sind.

Bei älteren Menschen hat die rMV-Behandlung, die sich auf den Quadrizeps konzentriert, in den Studien, die bisher von Forschern der Cattolica zusammen mit Kollegen  der Universität von Perugia (Prof. Enrico Pettorossi) und La Sapienza in Rom durchgeführt wurden, zu folgenden Ergebnissen geführt

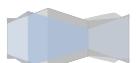
in Zusammenarbeit mit der Stadt Rom, eine Leistungssteigerung von 70-75% und eine Stabilität von 30-35%. Eine Studie, die an 200 Personen über 65 Jahren in den Seniorenheimen von Rom durchgeführt wurde, zeigte eine Verringerung des Sturzrisikos bei 83 % der Teilnehmer und eine Wiederherstellung der Normalität bei 89 %. Die Verbesserung der Muskelleistung ist jedoch nicht auf pathologische oder geschwächte Personen beschränkt, sondern kann auch bei gesunden Personen oder Sportlern erreicht werden. Die Behandlung mit rMN führte bei jungen Personen, die in den Monaten vor und während der Studie kein Training absolviert hatten, zu einer Steigerung der Ermüdungsdauer um über 40 % und zu einer Steigerung der Explosivkraft um 27 %.

*"Wie weitreichend die Anwendbarkeit des Verfahrens auch sein mag und wie überraschend das Ausmaß seiner Auswirkungen auch sein mag", erklärt der Physiologe Filippi von der Cattolica, "man darf nicht vergessen, dass das Verfahren, wie die in Zusammenarbeit zwischen EBRI und der Cattolica di Roma durchgeführten Studien zeigen, die Nervennetze und Mechanismen verbessert, die die Muskelkontrolle regulieren, indem es unnötige Kontraktionen minimiert (die bei Spastizität, bei älteren Menschen, die Angst vor Stürzen haben, bei Probanden, sich keine ausreichende Fluidität' in der sportlichen Geste), die die Rekrutierung von Muskelfasern begünstigt (die bei sitzenden Menschen aufgrund von Gewohnheiten oder therapeutischen Einschränkungen fehlen). Es handelt sich also um eine direkte und gezielte Einwirkung auf ausgewählte Nervennetze, die eine Hauptrolle bei der Kontrolle und Koordination jeder unserer Bewegungen spielen". Um keine falschen Erwartungen zu wecken, warnt Filippi, "muss gesagt werden, dass die Behandlung weder Wunder bewirken noch die traditionelle Rehabilitation ersetzen kann. Die rMV eröffnet der Physiotherapie neue und wichtige Möglichkeiten, die daher spezialisiert und auf den einzelnen Patienten zugeschnitten sein müssen".*

*"Die Verbesserung der Funktion bestimmter Hirnregionen bedeutet eine Verbesserung der Leistung unserer Motoren, der Muskeln, in Bezug auf Kraft, Ermüdungswiderstand und Koordinierung. Eine schlechte Koordination äußert sich insbesondere in Spastizität, Muskelrissen, schlechter Gelenkfunktion und daraus resultierenden Schmerzen, Arthritis und Arthrose. Auf die Koordination einzuwirken bedeutet also, auf die Lebensqualität einzuwirken", erklärt der Physiologe Filippi.*

Die rMN-Vibration hat strenge Parameter: die Anwendung der Mikrovibration dreimal täglich, jeweils 10 Minuten, an drei aufeinanderfolgenden Tagen auf die einzelnen Muskeln, auf die Sie einwirken möchten, einschließlich einer Frequenz von 100 Zyklen pro Sekunde. Das Gerät ermöglicht es, diese Vibration zu erzeugen und vor allem ohne übermäßige Verzerrung an die Muskeln abzugeben.

*Diese örtlich begrenzte Vibration einzelner Muskeln", fügt Filippi hinzu, "ist ein milder, aber starker Reiz für die Hunderte von Nervensensoren in den Muskeln. Diese 'lesen' die 100 Zyklen pro Sekunde und senden sie an die Nervenzentren, die den behandelten Muskel steuern. Die verwendete Frequenz stellt einen "Code" für diese Zentren dar, der eine Verstärkung der Kontrollnetze zur Folge hat Nervensystem. Das zentrale Nervensystem wird "" in der Lage, die zu kontrollieren und zu koordinieren Muskeln".*



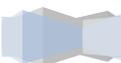
## BIBLIOGRAPHIE

---

- <sup>1</sup> Mountcastle V.B., Rose J.: Touch and kinesthesia in neurophysiology. In: Magoun H.W.. (Ed). Handbuch der Physiologie. Amerikanische Physiologische Gesellschaft. Vol 1: 387-430, 1959.
- <sup>2</sup> Hagbarth K.E.: The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disease. In: New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology. Desmet J.E. Ed. pp 428-443. Karger, Basel, 1973.
- <sup>3</sup> Johansson R.S., Valbo A.B.: Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. Trends in Neurosis. 6: 27-32, 1983.
- <sup>4</sup> Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronale Periodizität und Frequenzunterscheidung. J Neurophysiol.32: 452- 484, 1969.
- <sup>5</sup> Cosh J.A.: Studies on the nature of vibration sense. Clin Sci. 12: 131-151,1953.
- <sup>6</sup> Cauna N., Mannan G.: The structure of human digital Pacinian corpuscles and its functional significance. J Anat (London). 92: 1-20, 1958.
- <sup>7</sup> La Motte R.H., Mountcastle V.B.: Capacities of humans and monkeys to discriminate between vibratory stimuli of different frequency and amplitude: a correlation between neural events and psychophysical events. J Neurophysiol. 38:593-559, 1975.
- <sup>8</sup> Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronale Periodizität und Frequenzunterscheidung. J Neurophysiol.32: 452- 484, 1969.
- <sup>9</sup> Loewenstein W.R., Skalak R.: Mechanical transmission in a Pacinian corpuscle. An analysis and a theory. J Physiol. 182: 346-37, 1966.
- <sup>10</sup> Rosenkranz K, Rothwell JC. J Physiol 2003; 551.2:649-660; **Rosenkranz K, Rothwell JC.** J Physiol 2004; 561:307-320.
- <sup>11</sup> Auswirkungen der mechanischen Propriozeptor-Stimulation bei postmenopausalen osteoporotischen Frauen. Nationaler SINFER-Kongress 21.-23. September 2004 CHIETI; Wirkung der vibrierenden propriozeptiven Aktivierung auf die Körperhaltung von Patienten nach ACL-Rekonstruktion. Assisi 8. Intern. Conf. Orthopaedics, Biomechanics, Sport Rehabilitation Nov 19-21 2004; Persistence des effets de la stimulation mécanique sur le contrôle et l'efficacité musculaire. 35° Congres National S.F.M.K.S 3-4-5 Juin 2005 saint-Tropez - Frankreich; Treatment with vibratory energy in patients with infantile cerebral palsy SIMFER Catania 2005.
- <sup>12</sup> Luu Y. K., Pessin J. E., Judex S., Rubin J., Rubin T.C. - Mechanische Signale als nicht-invasives Mittel zur Beeinflussung des Schicksals mesenchymaler Stammzellen, zur Förderung von Knochen und zur Unterdrückung des Fettphänotyps. IBMS Bone KEY 6(4):132-149, 2009.
- <sup>13</sup> Bosco C., Colli R., Intorini E., Cardinale M., Tsarpela O., Madella A., Tihanyi J., Viru A. - Adaptive Reaktionen der menschlichen Skelettmuskulatur auf Vibrationsexposition. Klinische Physiologie 19.2:183-187, 1999.
- <sup>14</sup> Gian Nicola Bisciotti - Fakultät für Sportwissenschaften, Universität Lyon (Frankreich); Interfaculty University School of Sport Sciences in Turin (Italien); Athletiktrainer des F.C. Internazionale (Italien) - 'Die Anwendung von Vibrationen in der Rehabilitationsmedizin (New Athletic Research in Science Sport) 2007
- <sup>15</sup> G.M. Filippi, F. Camerota, V.M. Saraceni - Artikel "Mechanische Vibrationen und motorische Rehabilitation - Eine neue Chance" - Sci Riabilitaz 2007; 8(2): 55-61.
- <sup>16</sup> Bianconi R. und 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, London; 1972.



- 
- <sup>17</sup> Rosenkranz K, Rothwell JC *J Physiol* 2003;551: 649-660; Rosenkranz K, Rothwell JC. *J Physiol*. 2004;561: 307-320.
- <sup>18</sup> Rosenkranz K, Rothwell JC. *J Physiol*. 2004;561:307-320
- <sup>19</sup> 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
- <sup>20</sup> Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- <sup>21</sup> Brunetti O, Filippi GM, Liti A, Panichi R, Roscini M, Pettorossi VE. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1180-1187;
- <sup>22</sup> Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- <sup>23</sup> Litta-Modignani R, Blivaiss Bb, Magid Eb, Priede I. *Aerosp Med*. 1964;35:662-7.
- <sup>24</sup> Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972
- <sup>25</sup> Jami L, Petit J. *Exp Brain Res*. 1976 Mar 15;24(5):485-93
- <sup>26</sup> Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. *J Physiol*. 1967;192;773-800.
- <sup>27</sup> R. und van der Meulen J. *J Neurophysiol*. 1963; 26:177-90; Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972.
- <sup>28</sup> Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87
- <sup>29</sup> 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
- <sup>30</sup> Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- <sup>31</sup> Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- <sup>32</sup> Runge M., Rehfeld G., Resnicek E. - Gleichgewichtstraining und Bewegung bei geriatrischen Patienten. *J Musculoskel Interact* 1: 54-58, 2000.
- <sup>33</sup> Cormie P, Deane RS, Triplett NT, McBride JM - Akute Auswirkungen von Ganzkörpervibrationen auf Muskelaktivität, Kraft und Leistung. *J Strength Cond Res*. 2006 May;20(2):257-61.
- <sup>34</sup> Bisciotti G. N. - Neurophysiologische Aspekte und Anwendungen des vibrierenden Trainings, Ph. D. Forschungszentrum für wissenschaftliche Innovation der Fakultät für Sportwissenschaften der Claude-Bernard-Universität von Lyon (F), 2005.
- <sup>35</sup> Chestnut C.H. - Bone mass and exercise (Rezension). *Amer J of Med* 95(5A):345-365, 1993.
- <sup>36</sup> Gutin B., Kasper M.J. - Kann intensive Bewegung eine Rolle bei der Osteoporoseprävention spielen? (review). *Osteop Int* 2:55-69, 1992.
- <sup>37</sup> Hortobágyi T, del Olmo MF, Rothwell JC *Exp Brain Res* 2006;171:22-329
- <sup>38</sup> Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- <sup>39</sup> Bisciotti G. N. - Körperliche Aktivität und Osteoporose, *New Athletic Research in Science Sport*.195, 2006
- <sup>40</sup> Foti C., Annino G., D'Ottavio S., Masala S., Sensi F., Tsarpela O., Tranquilli C., Bosco C. - Die Wirkung von niederfrequenten Ganzkörpervibrationen hoher Frequenz bei körperlich aktiven osteoporotischen Frauen: eine Pilotstudie. *Med Sport*, 2008.
- <sup>41</sup> Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling an pain induced by intraneural electrical stimulation. *Pain*. 18: 239-28, 1984.
- <sup>42</sup> Ottoson D., Ekblom A., Hansson P.: Vibrierende Stimulation zur Linderung von Zahnschmerzen. *Pain*. 10: 36-45, 1981.



- 
- <sup>43</sup> Procacci P., Maresca M.: Traitements de la douleur par les stimulations périphériques. In: Abdelmoumène M., Cambier J., Ctchlove R., Cosyns P., Jacob M., Maresca M., Meyerson B.A., Michaud G. Procacci P.: La douleur. Masson (Eds), Paris. 59-70, 1979.
- <sup>44</sup> Lunderberg T., Ottoson D., Hakansson S., Meyersson B.A.: Vibratory stimulation for the control of intractable chronic orofacial pain. In: Bonica J.J., Lindbloom U., Iggo A.: Advances in pain research and therapy. Vol 5. Raven Press (Eds). New York. 555-561, 1983.
- <sup>45</sup> Lunderberg T.: The pain suppressive effect of vibratory stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as compared to aspirin. Brain Res. 284: 201-209, 1984.
- <sup>46</sup> Lunderberg T., Abrahamsson P., Bonesson L., Haker E.: Vibrierende Stimulation im Vergleich zu Placebo bei der Schmerzlinderung. Scand J Rehab Med. 19: 153-158, 1987.
- <sup>47</sup> Lunderberg T., Nordemar T., Ottoson D.: Pain alleviation by vibratory stimulation. Pain. 20: 25-44, 1984.
- <sup>48</sup> Casale R., Giordan A., Tiengo M.: Spinal nociceptive reflex responses. Variation der nozizeptiven Reflexantwort. Rall und lumbosziatalgischer Schmerz, ausgelöst durch TENS und Vibration. Minerva Anest. 51: 217-229, 1985.
- <sup>49</sup> Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. In: Tiengo M et al. Advances in pain research and therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), New York. 77-83, 1987.
- <sup>50</sup> Kempainen P.: Modification of human dentalpain threshold by conditioningvibrotactile stimulation at ight frequency. Arch Oral Biol. 10: 959-962, 1983.
- <sup>51</sup> Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling an pain induced by intraneural electrical stimulation. Pain. 18: 239-28, 1984.
- <sup>52</sup> Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. In: Tiengo M et al. Advances in pain research and therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), New York. 77-83, 1987.
- <sup>53</sup> Policlinico Gemelli, Articolo veröffentlicht am 15. Dezember 2008 auf [Paginemediche.it](http://Paginemediche.it) news

