
DIE ANWENDUNG VON
VIBRATIONEN

ÜBER DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

Wissenschaftliche Informationen

MECHANICAL VIBRATION - Wissenschaftliches Buch herausgegeben von Andromeda S.r.l.

INDEX

	Einführung	4
1. Was ist Vibration?		5
2. Neurophysiologie der Vibrationswahrnehmung: Rezeptoren im menschlichen Körper		7
3. Klassifizierung von Schwingungen		9
3.1. Unterschied zwischen Vibrationen und Elektrostimulation		9
4. Mechanische Vibration als eine Form der propriozeptiven Stimulation		10
5. Entwicklung bei den Studien über mechanische Schwingungen, die auf den Körper einwirken		13
menschlich		
5.1. FV: Der wissenschaftliche Weg		15
5.1.1. Fokale mechanische Vibration (FV) und muskulotendinös	Nervenrezeptoren	16
5.2. MFV: Struktur zur Erzeugung positiver Effekte durch Mehrfachschwingungen	Fokusmechanik	18
6 Ein neues Protokoll für die Anwendung von Vibrationen auf den menschlichen Körper: Repetitive Muscle Vibration (rMV)		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



7Aus positive Auswirkungen von Vibrationen auf den wirkunge menschlichen Körper n	24
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
8 Forschung und Anwendung mechanischer Schwingungen durch die Italienische Universitäten: Kongressbericht vom 13. Dezember 2008 auf 'Paginemediche.it' veröffentlicht - Einfache, wiederholte mechanische Vibrationen steigern die Gehirnfunktion und verbessern die Kontrolle der Muskelgelenke.	35

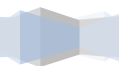
EINFÜHRUNG

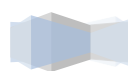
Alles im Universum schwingt. Auch der Mensch ist von dieser Realität betroffen, die sich außerhalb und innerhalb seiner selbst manifestiert. Vibration ist eine Lebenskraft. Was den Menschen betrifft, sollte man die Schwingungen in zwei grundlegende Bereiche unterteilen: nützliche Schwingungen und schädliche Schwingungen.

Im unendlichen Spektrum der Schwingungen befindet sich die menschliche Wahrnehmung in einem Band, das von der Esterozeption über die Frequenzen der Sensorik (die fünf Sinne) bis zur Propriozeption über die Resonanzfrequenzen unserer eigenen Zellen und Organe reicht. Die Belastungen des Lebens und die daraus resultierenden Schwingungen haben einen spürbaren Einfluss auf das Wohlbefinden und die Gesundheit. Zu den negativen Belastungen gehören zum Beispiel Stress (Introzeption) und Lärm (Exterozeption).

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

In den letzten zehn Jahren ist es der Wissenschaft gelungen, den mechanischen Schwingungen durch Forschung 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 pro Zeiteinheit, d. h. pro Sekunde, wird als Frequenz bezeichnet. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen. Hertz gibt an, wie viele Schwingungen (Vibrationen) in einer Sekunde auftreten. Was uns beschäftigt, sind die mechanischen 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**.

Die Oszillation ist die Bewegung, die ein beweglicher Punkt macht, um sich von seiner Ausgangsposition zu entfernen und wieder dorthin zurückzukehren: Man spricht oft von kleinen Bewegungen um die Gleichgewichtslage. Oszillationsbewegungen können periodisch oder abwechselnd auftreten.



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

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

Jeden Tag ist der menschliche Körper bewusst oder 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 Presslufthämmern, Bohrmaschinen usw.

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



auf den menschlichen Körper, je nach Art der Schwingung und der Dauer der Einwirkung, der der Körper ausgesetzt ist. **Die wesentlichen Faktoren sind die Amplitude der Kontaktfläche mit dem vibrierenden Objekt, die Frequenz der Vibration, die Amplitude (übertragene Wellenleistung), die Expositionszeit und die Ausbreitungsrichtung der Vibration.**

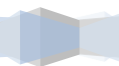
Die negativen Auswirkungen hängen mit den Energiewellen zusammen, die von der vibrierenden Quelle auf den exponierten Körper übertragen werden und die verschiedene Auswirkungen auf Gewebe und Organe haben, bevor sie abgeschwächt werden.

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 führt dazu, dass jeder Bereich des Körpers die Eingangsschwingungen entsprechend seiner eigenen Resonanzfrequenz verstärkt oder abschwächt.

Bei der 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 Einwirkung von Vibrationen auf das Hand-Arm-System ist beispielsweise mit einem erhöhten Risiko für vaskuläre, neurologische und muskuloskelettale Verletzungen des Hand-Arm-Systems 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, nämlich Mechanorezeptoren (Mountcastle und Rose, 1959¹). Bei **den Mechanorezeptoren handelt es sich um Mikrostrukturen mit verschiedenen Funktionen, die Schwingungssignale von verschiedenen Körperteilen empfangen.**

Anatomisch-strukturell gesehen haben die Mechanorezeptoren sowohl myelinisierte Fasern unterschiedlichen Kalibers als auch amyelinisierte Fasern und sind in verschiedenen **Gewebetypen wie Haut, Muskelgewebe, Knochenhaut, Kapseln und Gelenkbändern** zu finden. **Die Mechanorezeptoren des Muskels sind an den Reflexreaktionen beteiligt, die nach der Dehnung der Muskel-Sehnen-Einheit auftreten.**

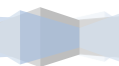
Diese Arten von Mechanorezeptoren bilden hochspezialisierte Strukturen und werden als "anulo-spirale Endigungen" der neuromuskulären Spindeln bezeichnet. Funktionell sind sie mit myelinisierten Fasern der Lloyd'schen Gruppe Ia verbunden; letztere weisen eine hohe Leitungsgeschwindigkeit von etwa 100 m/s⁻¹ auf und reagieren selektiv auf Vibrationsreize mit Frequenzen von 90 bis 150 Hz (Hagbarth, 1973²).

Darüber hinaus können mit Hilfe mikroneurographischer Techniken **vier weitere Typen von Mechanorezeptoren auf der Haut identifiziert werden**, die sich anhand der Anpassung und Größe des Rezeptorfeldes klassifizieren lassen (Johansson und Valbo, 1983³). 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, **registrieren Unterschiede in der Reaktion, die von der Frequenz des Vibrationsreizes selbst abhängen** (Mountcastle et al., 1969⁴).

Mountcastle et al. (1969) haben in Anlehnung an Tierversuche die Rezeptoreinheiten, die für die **sensorische Aufnahme des Tremor-Vibrationsreizes** verantwortlich sind, in drei Klassen eingeteilt, die nach der Art der Nervenendigung, dem Bereich des Rezeptoraktionsfeldes, den adaptiven Eigenschaften und der dynamischen Empfindlichkeit unterschieden werden.



Die drei so identifizierten Klassen von Mechanorezeptoren sind:



- **Schnell anpassungsfähige Mechanorezeptoren** 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 reagieren sowohl auf Bewegung als auch auf die Intensität des mechanischen Reizes, dem sie ausgesetzt sind.
- **Pacini-Körperchen** oder FA-2 (Fast Adaptation-2), die sich **im Unterhautgewebe** befinden.

Die von Cosh (⁵1953) durchgeführten Studien über die Schwelle der Vibrationswahrnehmung vor und nach der Hautanästhesie haben gezeigt, dass die Rezeptorschwelle für die Vibrationsempfindlichkeit **subkutan** gelegen **ist**. Aus diesem Grund können **die Pacini-Körperchen** in ihrer Gesamtheit **als die Mechanorezeptoren** angesehen werden, die **am meisten an der Vibrationswahrnehmung beteiligt sind**. Zur Bestätigung dieser Hypothese ist darauf hinzuweisen, dass bei älteren Menschen die Schwelle für die Vibrationswahrnehmung ansteigt, was mit einem Verlust der Pacini-Körperchen einhergeht (Cauna und Mannan,)1958⁶.

Was die Mechanorezeptoren **in der Dermis betrifft**, so spielen **die Meissner-Körperchen die wichtigste Rolle bei der Vibrationswahrnehmung**, die jedoch eine selektive Aktivierung für **niederfrequente Vibrationsreize** zwischen **1 und 5 Hz** aufweisen (La Motte und Mountcastle, 1975⁷). In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass das **psychophysische Empfinden im Grenzbereich niederfrequente Schwingungen um einen Wert von 40 Hz als Zittern wahrnimmt**, das mit dem Begriff "**Flattern**" bezeichnet wird (Talbot et al., ⁸1969). **Andererseits** werden **höherfrequente Schwingungen um 100 Hz als echte Vibrationsempfindung** wahrgenommen. Aus diesem Grund können wir die Wahrnehmung des **Flattereffekts** vernünftigerweise den Meissner-Körperchen zuschreiben, deren optimaler Empfang im Bereich zwischen 1 und 5 Hz liegt, während die Wahrnehmung des Vibrationsreizes im Wesentlichen den Pacini-Körperchen zuzuschreiben ist, die eine optimale Vibrationsfrequenz von etwa 100 Hz haben, obwohl ihr Empfangsbereich eigentlich von 10 Hz bis 600 Hz reicht (Loewenstein und Skalak,)1966⁹.



Kapitel 3 KLASSIFIZIERUNG

DER VIBRATIONEN

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 Dauer.

Um die bestmögliche 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 Umweltfaktoren berücksichtigt werden.

Es ist daher notwendig, den Ort der Anwendung der Vibration zu betrachten. Aus diesem Grund lassen sich die Schwingungen in folgende Kategorien unterteilen:

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

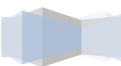
3.1 UNTERSCHIED ZWISCHEN ELEKTROSTIMULATION UND VIBRATION

Die Elektrostimulation scheint in der posttraumatischen Phase, in der postoperativen Phase oder als Massage zur Reaktivierung der ursprünglichen Funktion oder für den Einsatz von schmerzlindernden Strömen wie TENS von Nutzen zu sein.

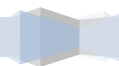
Wir sprechen hier nicht von Vorteilen in Bezug auf die Leistung und die richtige biomechanische Funktion.

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

Während die mechanische Vibration den gesamten Muskelapparat durch die ⁹
Wenn das propriozeptive System nicht stimuliert wird, bewirkt der Elektrostimulator nur die



Kontraktion der agonistischen Muskeln, so dass das propriozeptive System nicht stimuliert wird, was zu Lasten der wichtigen Funktionen der intermuskulären Koordination geht.



Kapitel 4

MECHANISCHE VIBRATION ALS EINE FORM DER PROPRIOZEPTIVEN STIMULATION

Der russische Physiologe Pawlow wies 1927 nach, dass die geeignete Assoziation zweier geeigneter Reize einige motorische und/oder Verhaltensfunktionen bei Katzen verändern kann (Paradigmen der assoziativen neuronalen Konditionierung, für die zeitliche Assoziation von zwei Reizen). In der Folge wurde dieses Phänomen auf zellulärer Ebene definiert, und man sprach von **Long Term Potentiation (LTP), d. h. einer langfristigen (monatlichen) Potenzierung ausgewählter Nervennetze.**

Jedes Jahr erscheinen mehrere hundert wissenschaftliche Veröffentlichungen, die eine Vielzahl von Methoden zur Auslösung von LTP-Phänomenen in neuronalen Netzen aufzeigen. Die Wirkungen der **assoziativen Konditionierung zeichnen sich durch eine Dauer von Wochen oder Monaten im Gegensatz zu Minuten oder Stunden der Konditionierung**, ein großes Ausmaß der Wirkungen und vollständig physiologische Mechanismen **aus**, da diese Verfahren nur physiologische Mechanismen aktivieren können. Vor dem Hintergrund dieser Arbeiten schien es möglich zu sein, **eine Art 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 Jahren haben 10einige Forschungsgruppen, die **verschiedenen Universitätsinstituten** angehören (*Abteilung für Wissenschaften 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 Motorwissenschaften, Universität Cassino*) haben versucht, einen mechanischen Vibrationsreiz zu finden, der einerseits keine Schäden verursacht und andererseits therapeutische Wirkungen hat, **indem er auf das propriozeptive Kontrollnetz einwirkt.**

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



schnelle und langfristige Verbesserung der Muskelleistung.

10

Die jüngsten Arbeiten stimmen in zwei Punkten überein: Um anhaltende Wirkungen zu erzielen, müssen die mechanischen Vibrationen über einen angemessenen Zeitraum (10-15 Minuten) andauern. Im Hinblick auf den Anstieg



des Muskeltonus der Gravitationsmuskeln muss die mechanische Vibration eine Frequenz haben, ¹⁰für die das propriozeptive System besonders empfindlich zu sein scheint (90-120 Hz), und sie muss an entspannte Muskeln verabreicht werden. Zur Stärkung der Skelettmuskulatur ist neben dem durch die mechanische Vibrationsstimulation erzeugten Signal auch die Mitwirkung des Patienten durch Kontraktion der Zielmuskeln erforderlich. Der mechanische Reiz ist also mit der gleichzeitigen willentlichen Kontraktion des stimulierten Muskels verbunden: Auf diese Weise erhält das Kontrollnetz des Muskels gleichzeitige Reize², von denen einer durch den Patienten und der zweite durch die Vibration ausgelöst wird.

Die ideale Anwendung wird in 3 Behandlungen von 10 Minuten pro Tag an 3 aufeinanderfolgenden Tagen entwickelt. Jede Sitzung sollte durch eine 3-Minuten-10-er Muskelentspannung und des Aussetzens des Vibrationsreizes unterbrochen werden (der Zyklus der Sitzungen 3 kann in einer Zeit von 45 Minuten pro Tag an 3 aufeinanderfolgenden Tagen). Die Ergebnisse dieser Forschung wurden auf Konferenzen vorgestellt¹¹.

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. Die Wiederherstellung der Stabilität auf einem Bein mit geschlossenen Augen bei Patienten mit ACL-Rekonstruktion (vorderes Kreuzband) deutet außerdem darauf hin, dass die **Behandlung die Analyse der propriozeptiven Informationen verändert haben könnte. Die Dauerhaftigkeit der Wirkungen deutet schließlich auf eine wirksame Induktion plastischer Veränderungen der propriozeptiven Schaltkreise hin.** Es wurden keine Nebenwirkungen beobachtet.

Dies ist eine völlig neue Art der "Umprogrammierung" (fast eine Art Computer-"Upgrade") **der Nervenetze, die die Muskeln steuern.** 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 % geringere Muskelmasse als die heutigen Sprinter, aber ihre Zeiten waren kaum zu schlagen. Sie waren weitaus effizientere Muskelmaschinen als die von heute. Der Grund dafür ist den Neurophysiologen seit langem bekannt: Ihre Nervensysteme waren in der Lage, ihre Muskeln optimal zu steuern, ihr Training war auf eine flüssige Leistung ausgerichtet, um maximale Effizienz zu erreichen.



Heute wird, leider mit Hilfe der Chemie, kontraktile Masse angestrebt, um mehr Kraft zu haben, ¹¹
aber die Leistung wird immer weniger effektiv.

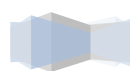


Da die Wirksamkeit also viel mehr von der Kontrolle der Muskelmasse als von ihrem Volumen abhängt, ist es wichtig, diese Funktion zu steigern. Es gibt Techniken, die auf der Verarbeitung mechanischer Vibrationssignalsequenzen beruhen, um Formen der Langzeitpotenzierung (LTP) auf bestimmte Nervenfunktionen zu erhalten. Mit diesen Techniken kann direkt auf die neuromuskuläre Kontrolle eingewirkt werden, und zwar mit außerordentlich starken Effekten (Steigerungen von mehreren Dutzend Prozentpunkten), die schnell (bei Anwendungen von wenigen Minuten, die in kurzen Abständen wiederholt werden) und anhaltend (Wochen oder Monate) eintreten.

Es ist bemerkenswert, dass dieses neue System nicht nur in Bezug auf seine Größe beeindruckende Effekte erzielt, sondern auch das Gegenteil von Doping ist. Letzteres treibt das Subjekt über seine Möglichkeiten hinaus und führt dazu, dass es weit mehr Energie aufwendet, als der Körper zu tun bereit ist. Andererseits bedeutet die Stärkung der motorischen Kontrolle eine Optimierung der sportlichen Geste, die bei jeder Bewegung Energie spart 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 sie zu steigern: Die Leistung wird durch ein besseres Muskelmanagement gesteigert.





Kapitel 5

ENTWICKLUNG VON STUDIEN ÜBER MECHANISCHE SCHWINGUNGEN, DIE AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER EINWIRKEN

In regelmäßigen Abständen erwacht in der Wissenschaft das Interesse an möglichen therapeutischen oder sportlichen Anwendungen von mechanischen Vibrationen, und im Laufe der Jahre hat diese Forschung zu einer beeindruckenden Literatur geführt.

Die erste wissenschaftliche Arbeit über den Einsatz von Vibrationen zu therapeutischen Zwecken beim Menschen (so genannte therapeutische Vibrationsübungen) **geht auf 1949 Whedon et al.** zurück, die über die **positiven Auswirkungen** von Vibrationen, die durch ein spezielles Schwingungsbett erzeugt werden, auf Stoffwechselanomalien bei bettlägerigen Patienten in Gipsverbänden „berichteten.

Eine spätere experimentelle Studie (Hettinger, 1956) zeigte, dass **Vibrationen mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Beschleunigung von 10 g die Fläche des Muskelabschnitts vergrößern und das Fettgewebe im Muskel reduzieren** konnten.

Im rein therapeutischen Bereich patentierte Schiessl (1997) fast vierzig Jahre später den Einsatz einer Maschine, die Rotationsschwingungen erzeugen kann, während Fritton et al. (1997) im gleichen Zeitraum eine Maschine entwickelten, die auf Translationsschwingungen basierte (eine Technik, die später aufgrund ihrer schlechten Ergebnisse aufgegeben wurde). In beiden Fällen bestand der Anwendungsbereich dieser Geräte in dem Versuch, eine **Stimulierung des Knochenwachstums** zu erreichen, **und zwar dank spezifischer Frequenzen, die wir mit dem Begriff "osteogen" definieren könnten.**

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

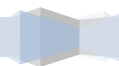
Seitdem 1994 konzentriert **Prof. C. Rubin** seine Studien auf das Verständnis der zellulären Mechanismen, die für **Knochenwachstum, -heilung und -homöostase** verantwortlich sind, und insbesondere darauf, wie biophysikalische Reize (mechanische und andere) diese Reaktionen¹² vermitteln. Die Ergebnisse seiner Arbeit zeigen, dass diese Stimuli eine **Hemmung der Osteopenie**, die Förderung des Knochenwachstums bei Prothesen oder Skelettdefekten und auch eine **schnellere Heilung von Knochendefekten** bewirken.

Frakturen.

Bisher konzentrierten sich jedoch alle 1987 Studien über mechanische Vibrationen auf ihre Auswirkungen auf das Skelettsystem, d. h. 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 kontraktile Kapazität der Muskeln zu erhöhen, die Vibrationsbelastungen ausgesetzt sind** (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. Anfang der 1990er Jahre konnten die Amerikaner nicht länger als 120 Tage im Weltraum bleiben und hatten stets schwere Muskel- und Knochenprobleme, während die russischen Astronauten einen Rekord nach dem anderen aufstellten, indem sie zwei Astronauten tagelang⁴⁵⁰ auf der MIR-Station in der Umlaufbahn stationierten.

Seitdem hat sich die Forschung in diesem Bereich weiter vertieft, vor allem dank der Studien von **Prof. Carmelo Bosco, einem der bedeutendsten Vertreter der Erforschung der Reaktion des menschlichen Körpers auf mechanische Schwingungen**. Er entwickelte eine Trainingsmethode (AV - Vibrationstraining), die durch einfache Übungen auf einer vibrierenden Plattform mit bestimmten Frequenzen die Kraft, die Widerstandsfähigkeit und die Schnelligkeit der untersuchten Person verbessern kann und es ermöglicht, auch ältere Menschen und Verletzte zu behandeln, ohne auf unangenehme Umerzziehungstherapien zurückgreifen zu¹³ müssen.

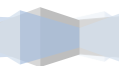
Im Jahr 2007 erschien in der Zeitschrift "New athletic Research in Science Sport" eine von der Fakultät für Sportwissenschaften der Universität Lyon (Frankreich) und der Interfakultären Schule für Sportwissenschaften in Turin koordinierte Arbeit (Bisciotti, 2007).¹⁴ In dem Artikel heißt es:

"Die Auswirkungen der kontrollierten Verabreichung von Vibrationen auf den menschlichen Körper sind seit 1949 bekannt, dem Datum der ersten wissenschaftlichen Arbeit auf diesem Gebiet. Aber 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 der Osteoporose rechtfertigt. Darüber hinaus wurden die physiologischen Wirkungen von Vibrationen in jüngster Zeit genutzt, um besondere Anpassungen im Hinblick auf die Steigerung der kontraktile Kraft in ihren verschiedenen Aspekten zu bewirken, auch im Sportbereich. Ein weiteres, wenn auch nicht sehr bekanntes therapeutisches Feld von Vibrationen ist die funktionelle Rehabilitation. Ziel dieser Arbeit ist es, die neurophysiologischen



Grundlagen der Vibrationsarbeit zu veranschaulichen."

Wir können heute **zwei Formen definieren**, in denen mechanische Schwingungen unseren Körper erreichen können: 14



1. Ersteres ist in der Lage, bestimmte Arten von Nervenrezeptoren, die an der motorischen Kontrolle beteiligt sind, stark 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 betrifft den ganzen Körper. Sie wird bei einer Haltung in völliger funktioneller Entlastung angewendet, wobei die Gelenke in Dekoaption sind. Sie wird punktuell und mit gezielten Frequenzen angewendet. Bei dieser Anwendung mit begrenzter Bestrahlung und in symmetrischen Punkten werden keine niedrigen harmonischen Frequenzen erzeugt und verbreitet, die für die Strukturen des menschlichen Körpers schädlich sind, sondern es werden lediglich die Mechanorezeptoren der Haut stimuliert. Diese Form wird als **Multi Focal Vibration (Keope MFV)** bezeichnet.

5.1 FOKALE VIBRATION (FV): DER WISSENSCHAFTLICHE WEG

Das PV ermöglicht eine sehr präzise Nutzung des Schwingungsreizes. Sie wird in der Forschung häufig eingesetzt, um das propriozeptive System einzelner Muskeln oder Gelenke zu aktivieren. Seit langem wird versucht, es zu therapeutischen Zwecken einzusetzen, da seine Wirkung auf neuromuskuläre¹⁵ Spindeln bekannt ist.

Während die vibrierende Plattform eine massive Ausbreitung entlang des Körpers hat, die durch eine einzige Quelle im Plantarbereich bestimmt wird, verhindern PV und MFV, die auf kleine Bereiche beschränkt bleiben, 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 wissen wir, 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 wichtige Aspekte** hervorgehoben:

1. Wie bereits von vielen Autoren¹⁶ ausführlich dokumentiert wurde, muss die Frequenz der Vibration 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 angewendet wird (¹⁷in Bezug auf die Stimulation des Muskeltonus);
3. Die Wirkung hält an, wenn die Stimulation für mindestens 10 Minuten fortgesetzt wird¹⁸.

Darüber hinaus sind PV und MFV in der Lage, die kortikale Erregbarkeit des Gebiets Primärantrieb, sowohl während der Vibration als auch nach dem Ende der Vibration¹⁹. Eine Reihe von Forschergruppen hat sich daher systematisch mit diesem Problem befasst,



um ein Anwendungsprotokoll zu definieren, mit dem wiederholbare Ergebnisse erzielt werden können und das somit in den zugrunde liegenden Mechanismen²³ bewertbar ist.²⁰²¹²²

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).

Die erste hätte über sensible Fasern, die üblicherweise als Ia (primär, mit einer Leitungsgeschwindigkeit zwischen und 72m/s120) 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 Muskelfasern²⁴ zu steuern.

Letztere, deren Nervenfasern als Ib bezeichnet werden (mit einer Leitungsgeschwindigkeit zwischen und 72m/s120), sollen die von den einzelnen motorischen²⁵ Einheiten entwickelten Spannungen erfassen.

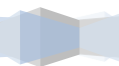
1963 wies Prof. R. Bianconi, der erste Professor für Humanphysiologie an der Katholischen Universität Rom, nach, dass mechanische Vibrationen, die bei geeigneten Amplituden und Frequenzen auf einen einzelnen Muskel einwirken, je nach den Eigenschaften des Reizes selektiv primäre (Ia) und sekundäre (Iib)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

Darüber hinaus wurde 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 der Frequenz und der 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 Stimulation²⁷ identisch ist.**²⁶

Driving" ermöglicht es, einen PRIMÄREN FUSALEFFEKT mit Frequenzen von 2020, 30 oder 100 Hz zu steuern, indem man Vibrationen mit Frequenzen von 20, 30 oder 100 Hz anlegt, ohne elektrische Stimuli zu verwenden oder Nervenfasern chirurgisch zu isolieren, sondern einfach durch die Anwendung einer mechanischen Vibration auf einen einzelnen Muskel.

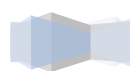


Mit geeigneten Frequenzen und Schwingungsamplituden ist es möglich, sowohl die aktivierten Afferenzen und bestimmen die Häufigkeit der an das zentrale Nervensystem gesendeten Aktionspotenziale.



Zum ersten Mal war es möglich, an bestimmte Zentren des Zentralnervensystems (die mit den Informationen der Spindeln und GTOs arbeiten) Frequenzen von vordefinierten Aktionspotentialen zu senden, wobei die Parameter der Vibration entsprechend gewählt wurden und gleichzeitig nicht-invasive Aktivierungsmodalitäten und physiologische afferente Bahnen verfolgt wurden. Dies war eine radikale Veränderung der Stimulationsmodalitäten empfindlicher Bahnen im Vergleich zu den Stimulationen, die mittels bioelektrischer Stimulation ganzer Nervenstämmen oder sogar einzelner Fasern durchgeführt wurden, was höchst unphysiologische und unspezifische Situationen sind.





5.2 MULTIFOKALE VIBRATION (KEOPE MFV)

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

Seit 1991 arbeitet das Forschungszentrum für menschliches Verhalten (Centro A.M. di Sirtori - LC) an der Konstruktion einer idealen ergonomischen Struktur für die Anwendung von Vibrationen auf den menschlichen Körper.

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 Teil des Körpers, 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 werden.** Dies führt nicht nur nicht zu den gewünschten Ergebnissen, sondern hat auch negative Auswirkungen auf den gesamten Körper.

Das Optimum wird dadurch erreicht, dass die Vibrationen in bestimmten Körperbereichen sehr genau lokalisiert werden, um die Wirkung der Vibration auf den gewünschten Bereich zu fokussieren, in dem die Vibrationen dann angewendet werden müssen, wobei eine unnötige Streuung vermieden wird. Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, ist dies das 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 der vollständigen funktionellen Entlastung** einzunehmen. Diese Struktur minimiert den Kontakt mit dem Körper, wodurch unnötige Kompression vermieden und die Blutzirkulation sowie die Lungenbelüftung verbessert und die Herzarbeit reduziert wird. Darüber hinaus ermöglicht diese Struktur die **Anwendung von Vibrationen bei der Dekoaptation der Wirbelsäule und der großen Gelenke.**

Die Einwirkung einer Reihe von Mikrovibratoren in bestimmten Bereichen mit gezielten Frequenzen ermöglicht es, die positiven Auswirkungen der Vibration zu maximieren, wie



zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen der letzten Jahre zeigen.



Kapitel 6

EIN PROTOKOLL FÜR DIE EINWIRKUNG VON VIBRATIONEN AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

Wie wir in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt haben, ist seit Jahren⁴⁰ bekannt, dass die mechanische Vibration, die auf einzelne Muskeln lokalisiert wird, die muskulotendinösen Propriozeptoren stark aktivieren kann. Da dieser Stimulus nicht schmerzhaft und nicht invasiv ist, wurden in den letzten Jahren viele Versuche unternommen, dieses Verfahren zur Verbesserung der motorischen Kontrolle einzusetzen. Allerdings verschwanden die Verbesserungen, sofern sie vorhanden waren, einige Augenblicke nach dem Ende der Vibration.

Kürzlich wurden Vibrationsparameter und ein Anwendungsprotokoll identifiziert, die in der Lage sind, plastische und damit dauerhafte Veränderungen der motorischen Kontrolle zu bewirken. Diese Ergebnisse eröffnen neue und noch nie dagewesene Möglichkeiten für die Rehabilitation, denn die Kontrolle der Gelenksteifigkeit entzieht sich weitgehend unserem Bewusstsein, was ein großes 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 haben eine Reihe von Experimenten durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine dreimal tägliche, dreiminütige¹⁰ Einwirkung dieser Vibration an drei aufeinanderfolgenden Tagen ausreicht, um die maximale Wirkung bei kürzester Anwendungsdauer zu erzielen. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass eine Vibration von 30 Minuten Dauer, ohne auch nur eine kurze Pause, die Auswirkungen deutlich verringert, was wahrscheinlich auf das Phänomen der Gewöhnung 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 der 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 sie zugeschrieben
dieser Aspekt des Protokolls eine viel größere

Rolle. 19



6.1 DIE ERSTE STUDIE ÜBER DAS POTENZIAL DER rMV AN GESUNDEN MENSCHEN: Die Wirkung der rMV auf die Kontrolle der Gelenksteifigkeit

Eine Doppelblindstudie, die für die Definition der Wirkungen und das Verständnis der Wirkungsmechanismen dieses speziellen integrierten Systems entscheidend ist, bestehend aus einem Protokoll und einem Ad-hoc-Gerät, wurde an gesunden²⁸ Probanden durchgeführt, wobei rMV am Quadrizepsmuskel angewendet wurde.

Die Studie deutet darauf hin, dass die Wirkung der anhaltenden Vibration in der Lage war, die motorische Kontrolle des behandelten Hauptgelenks nachhaltig zu verändern (Tests, die Tage 15 nach der Behandlung durchgeführt wurden). Insbesondere zeigten die Probanden einen deutlichen Anstieg (+40%) der Ermüdungsresistenz bei wiederholten Übungen (Beinstreckbewegungen unter Belastung).

Dieser Anstieg wurde auf eine Verbesserung der Kontrolle der Gelenksteifigkeit zurückgeführt, die durch eine Verringerung der durch Muskelkoaktivierungen bedingten Gelenkimpedanz hervorgerufen wurde. Die parallele Verringerung der Anstiegszeit der Maximalkraft der isometrischen Kontraktion (die vor und nach der Behandlung unverändert blieb) wurde auf die feinere Gelenkstabilisierung zurückgeführt, die sich in der wahrscheinlichen Verringerung der Koaktivierungen manifestierte und es dem Nervensystem ermöglichte, die Kraft des Quadrizeps mit größerer Wirksamkeit zu entfalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das 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 Hz 100 für drei aufeinanderfolgende Minuten¹⁰, 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 Kontrolle einzuwirken, indem es die Gelenkkontrolle und insbesondere die Kontrolle der Gelenksteifigkeit verbessert.

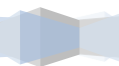
Die mit dieser Studie eingeführten Neuerungen sind wirklich bemerkenswert: In dieser ersten Studie wurde ein integriertes System vorgestellt, das aus einem Protokoll und einem speziellen Instrumentarium besteht, das in der Lage ist, in wenigen Minuten Auswirkungen auf die motorische Kontrolle zu bewirken, die mindestens einige Tage¹⁵ andauern und von großer Intensität sind.⁹⁰

Darüber hinaus scheint der Wirkungsmechanismus in einer Veränderung der Kontrolle der



Gelenksteifigkeit zu liegen, also in einer direkten Wirkung auf das zentrale Nervensystem und auf einen Parameter: die **Gelenksteifigkeit**. Die Gelenksteifigkeit ist einer der komplexesten und schwierigsten Parameter.²⁰

Determinanten der motorischen Kontrolle. Insbesondere die Kontrolle der Gelenksteifigkeit ist der Kernpunkt der motorischen Rehabilitation und wird vollständig außerhalb der Kontrolle verwaltet



freiwillig und daher vom Therapeuten nur auf indirekte und daher schwierige, zeitaufwendige und unsichere Weise veränderbar.

Es handelt sich um einen Aspekt, der fast alle motorischen Pathologien betrifft, wie z. B. Spastizität oder Muskelhypotonie (bzw. Exzesse und Defizite bei der Gelenksteifigkeit) und die Folgen, die diese auf die motorischen Defizite, die Lebensqualität und das Hindernis haben, das sie für das Therapeuten-Patienten-Duo beim Erreichen korrekter motorischer Strategien darstellen.

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

6.2 NEUROPHYSIOLOGISCHE KORRELATE

Beide oben genannten Studien legen nahe, dass **rMV in der Lage** ist, plastische **Veränderungen** im zentralen Nervensystem **zu bewirken**, 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.

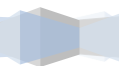
Der ausgelöste Mechanismus schien in der Lage zu sein, die Steuerung der Gelenksteifigkeit zu verändern, eine sehr komplexe Steuerung, die das Zusammenspiel zahlreicher Gruppen von motorischen Einheiten erfordert, die zu anatomisch unterschiedlichen Muskeln gehören, mit feinen und schnellen Veränderungen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

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



Für diese Studie, die von Barbara Marconi²⁹, Forscherin an der Fondazione S. Lucia und der EBRI Foundation haben zusammen mit anderen Mitarbeitern rMV auf den Muskel Radialbeuger der Handwurzel bei gesunden Probanden.

21



Die Anwendung von TMS zeigte, dass die Behandlung mit rMV die intrakortikalen Hemmungsmechanismen in den Bereichen stimulierte, die mit dem behandelten Muskel in Verbindung stehen, während die Bereiche, die mit dem antagonistischen Muskel (dem gemeinsamen Streckmuskel der Finger) in Verbindung stehen, aktiviert wurden. **Die Wirkungen traten nur bei der Kombination von willentlicher Muskelkontraktion und Vibration auf** und hielten mindestens 15 Tage lang an, wobei sich die Situation vor der rMV innerhalb weniger Tage nach 30der Behandlung wieder einstellte.

Die Notwendigkeit, willkürliche Muskelkontraktion und Vibration miteinander zu verbinden, lässt vermuten, dass das plastische Phänomen durch einen assoziativen Mechanismus ausgelöst wird, was eine damit verbundene Aktivierung verschiedener Zellpopulationen voraussetzt.

Unter dem 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, und so die unerwünschten Kontraktionen oder, in einem allgemeineren Sinne, die unerwünschten Ko-Kontraktionen reduziert. Dieser Mechanismus wird natürlich durch die Prozesse der reziproken kortikalen Hemmung verstärkt, wobei die Aktivierung einer Muskelgruppe den Antagonisten hemmt und umgekehrt. Die Behandlung mit rMV scheint daher in der Lage zu sein, diese beiden Mechanismen zu aktivieren, von denen man annimmt, dass sie funktionell zur Regulierung der Ko-Kontraktionen beitragen.

Der Mechanismus der Ko-Kontraktionen ist auf Gedeih und Verderb entscheidend für unsere Bewegungen, stellt aber auch, wie bereits erwähnt, ein großes Problem bei Training und Rehabilitation dar.

Die Ko-Kontraktionen sind ausschlaggebend für die Regulierung der Gelenksteifigkeit, gleichzeitig sind sie aber auch die Ursache für einen höheren Energie- und Stoffwechselfaufwand, eine geringere Muskeleffizienz, eine größere Ermüdung und eine geringere Ausführungsgeschwindigkeit. **Die Ergebnisse der Studie mit TMS schienen daher mit den Hypothesen früherer³¹ Studien übereinzustimmen: ³⁰rMV 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 zu einer Verringerung der Ko-Kontraktionen und einem verbesserten Agonisten-Antagonisten-Management führt, steht auch im Einklang mit der Erhöhung der Ermüdungsresistenz und der Verringerung der Kraftexplosionszeiten, die bei gesunden Probanden beobachtet wurden.

Die Verbesserung der Ko-Kontraktionen, die einerseits unverzichtbar sind und andererseits ein

Hindernis für die motorische Ausführung darstellen, ist sehr schwierig, ebenso wie die gemeinsame Kontrolle im weitesten Sinne.

Diese Anpassungen liegen jenseits unseres Willens und Bewusstseins und sind abhängig von 22 ausschließlich durch die Wirkung des zentralen Nervensystems. Jede Intervention an ihnen ist daher nur sehr indirekt und daher äußerst zeitaufwendig und ermüdend, wie die Merkmale des Sporttrainings und der motorischen Rehabilitation zeigen. **Das rMV, auf der Grundlage dieser**

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

In der Studie von Marconi kehrte die Situation innerhalb von 30 Tagen zu der vor der rMV zurück, während die Probanden mit ACL-Rekonstruktion, die bis zu 120 Tage nach der Behandlung ohne Wiederholung der Behandlung beobachtet wurden, ihre Leistung weiter steigerten. Diese Unterschiede sind wahrscheinlich auf die fehlende Möglichkeit der Konsolidierung der plastischen Effekte bei der Behandlung des Radialflexors der Handwurzel bei gesunden Probanden im Vergleich zu Patienten mit VKB-Rekonstruktion zurückzuführen. In ersterem Fall wurde die behandelte Muskelgruppe nach der rMV-Behandlung weiterhin wie vor der Behandlung genutzt. Bei letzteren hat die Rehabilitation die Kontrolle über das Knie weiter verbessert. Die neuromotorische Situation des Karpusbeugers wurde also bei den gesunden Probanden physiologisch auf den "Normalzustand" zurückgeführt, während bei den operierten Patienten die Rehabilitation darauf abzielte, die Effekte der rMV zu verstärken und vor allem zu festigen.

Diese Überlegungen unterstreichen die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen rMV und Bewegung, die sowohl auf 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 Forschungsstudien über rMV relevant erscheinen:

- ✓ **Das rMV ist ein nicht-invasives Protokoll, das auf einer Vibration mit besonders niedriger Amplitude basiert.** Die Stimulierung scheint **ab 4 Jahren** vollständig tolerierbar zu sein, sie ist einfach anzuwenden, auch wenn sie auf einem sehr strengen Regelwerk beruht. Auch die Schwingungsparameter müssen völlig konstant sein, und kleine Abweichungen können die Ergebnisse zunichte machen, so dass die Geräte aus technischer Sicht fast unveränderlich sind.
- ✓ Die MVR ist nicht von der Rehabilitation zu trennen, sie ist lediglich ein Verfahren, das neue Wege zur Rehabilitation eröffnen soll, indem es durch direkte Einwirkung auf das zentrale Nervensystem die Kontrolle der Gelenksteifigkeit verbessert. Spezifische und gezielte Rehabilitationsmaßnahmen sollten das Beste aus dem Erreichten machen. Die Weiterbehandlung eines Patienten mit rMV muss gemeinsam mit den Therapeuten festgelegt oder besser noch von den Therapeuten selbst nach dem Therapiekonzept durchgeführt werden.
- ✓ rMV beweist, was die Rehabilitation schon lange sagt, nämlich dass Chronizität nicht das Ende von Verbesserungen bedeutet. Wichtige Ergebnisse, oft die auf Konferenzen auf Video gezeigt wurden, wurden mehr als Jahre 10 nach der



- ✓ Die rMV stellt für die Physiotherapie eine **Chance dar, in Bereiche vorzudringen, die heute fast aufgegeben werden:** die **über80** chronischen neurologischen Verletzungen.



Kapitel 7

POSITIVE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

Das muskuloskelettale System ist eine komplexe biologische Maschine für die menschliche Fortbewegung. Um die verschiedenen funktionellen Anforderungen zu erfüllen und umzusetzen, 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 sicheren Funktionsgrenze halten. Längere Bettruhe oder eine verletzungsbedingte Ruhigstellung können die Strukturen so schwächen, dass ihre Funktion eingeschränkt ist. Einige häufige Krankheiten wie Osteoporose oder Myositis führen zu einer qualitativen und quantitativen Verschlechterung der Knochen- und Muskelstrukturen, die sich in klinischen Symptomen äußert. Wenn die täglichen Belastungen drastisch reduziert werden, kommt es zu einem bemerkenswerten Muskelschwund, dessen Halbwertszeit etwa 8-10 Tage beträgt, mit einem selektiven Abbau der Proteinstruktur, die die kontraktile Komponente des Muskels bildet, insbesondere in den langsamen Fasern. Dies ist die Hauptursache für die Funktionsstörung und den Kraftverlust von Knochen und Muskeln im Alter.

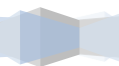
Es hat sich gezeigt, dass ein Training von kurzer Dauer, aber sehr hoher Intensität, positive Auswirkungen auf die Knochen-, Muskel- und Gelenkstrukturen hat, und zwar so sehr, dass sowohl Masse als auch Kraft als Reaktion auf diese zyklischen Anstrengungen auf einem hohen Niveau gehalten werden. Der Mensch ist jedoch normalerweise sesshaft, vor allem im Alter. Und oft beschränkt sich seine körperliche Aktivität auf die einfache Fortbewegung für normale tägliche Verrichtungen. Die **tägliche Fortbewegung des Menschen ist der kleinste mechanische Reiz, der einen grundlegenden Muskeltonus gewährleistet. Deshalb wird empfohlen, dass alte Menschen viel zu Fuß gehen.** Dieser Reiz, 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 von 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 Bildung von Knochen während des menschlichen Lebens. Leider ist **das moderne Verständnis von**

der Vitalität nimmt die

Bewegungsaktivität stark zu, wobei eine starke

Zunahme 24

Hypokinese und hat somit negative Auswirkungen auf den Bewegungsapparat. Um den Bewegungsmangel auszugleichen, werden verschiedene



Projekte, die die Bevölkerung zu mehr körperlicher Betätigung anregen und veranlassen sollen, aber leider geschieht dies aufgrund fehlender Ausrüstung und eines falschen Lebensstils nicht. Oder in sehr kleinen Mengen. Oft unzureichend, um Risiken zu vermeiden.

Die Forschung hat gezeigt, dass mechanische Vibrationen einen starken Reiz auf den gesamten Organismus ausüben, insbesondere auf das neuromuskuläre System und das Skelettsystem. Im Folgenden werden die **wichtigsten positiven Wirkungen von mechanischen Schwingungen zusammengefasst, die in den letzten Jahren von der wissenschaftlichen Forschung festgestellt wurden**⁴⁰.

7.1 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DEN HORMONHAUSHALT

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

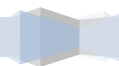
Auch die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den menschlichen Körper ist in der Lage, **eine adaptive hormonelle Reaktion** hervorzurufen, die beispielsweise zu **einem Anstieg der Plasmakonzentration von Testosteron (T) und Wachstumshormon (GH)** und gleichzeitig zu einer **Verringerung der Konzentration von Cortisol (C)** führt. Der **Anstieg von T und GH ist auf die Wirkung der 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 der Hypothese führt, dass die beiden Phänomene zwar unabhängig voneinander auftreten, aber möglicherweise gemeinsame Mechanismen haben.

Unter den Hormonen, deren Sekretion durch mechanische Vibrationen stark angeregt wird, ist vor allem Serotonin (5-Hydroxytryptamin) zu nennen, ein biogenes Amin, das aus der Decarboxylierung von 5-Hydroxytryptophan entsteht. Serotonin wird von enterocromaffinen Zellen in 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. 25
Blutstillung und Förderung der Reparatur verletzter Gefäße.



Vibrationen stimulieren auch **die Produktion von Neurotrophinen**, einer Familie von Proteinen, zu denen 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 analgetischen und verhaltenssteuernden Wirkungen von Morphin nachahmen (morphinähnliche Wirkung), **werden durch Vibrationsexposition ebenfalls stark stimuliert**.

Schließlich ist daran zu erinnern, dass die **Vibrationen die Sekretion von IGF-I oder Somatomedin C stimulieren, einem der beiden Polypeptid-Wachstumsfaktoren** (der zweite ist IGF-II), der aus Molekülen besteht, die aus Aminosäuren⁷⁰ gebildet werden, die zu 45 % mit Insulin homolog sind. **Die physiologische Aufgabe von IGF-I besteht darin, die Wirkung des Wachstumshormons zu vermitteln, indem es die Entwicklung des Skeletts stimuliert**.

7.2 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DIE SKELETTMUSKULATUR

Bei der Fortbewegung wird beim Aufprall auf den Boden ein Wellenzug erzeugt, der sich über den Fuß, das Bein, die Wirbelsäule und den Hals durch den ganzen Körper zieht. Dieser Wellenzug stellt einen starken Reiz für den gesamten Organismus dar, insbesondere für den Bewegungsapparat, 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 Belastung, die durch das Körpergewicht dargestellt wird.

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

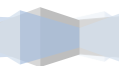
Die Anwendung von mechanischen Vibrationen hoher Intensität und kurzer Dauer hat nachweislich positive Auswirkungen auf die Knochen-, Muskel- und Gelenkstruktur, so dass sowohl die Gewebemasse als auch die Kraft auf einem hohen Niveau gehalten werden, was zu einem geringeren Muskel- und Knochenverlust³² führt.

Diese Veränderungen in der neuromuskulären Reaktion sind hauptsächlich auf die erhöhte **Aktivität der höheren motorischen Zentren** und die deutliche Verbesserung der höheren motorischen



Zentren zurückzuführen. 26

Nervenbefehle, die die neuromuskuläre Reaktion regulieren.



Die mechanischen Vibrationen, die lokal auf die Muskel- und/oder Sehnenstruktur einwirken (40 Hz), bewirken eine Aktivierung der Muskelspindelrezeptoren auf der Ebene des direkt belasteten Muskel-Sehnen-Komplexes, aber auch der angrenzenden Muskelgruppen.

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

Es ist wissenschaftlich belegt, dass RTV zu einer Steigerung der kontraktile Kraft der beteiligten Muskelgruppen führt, was sich in einer deutlichen Veränderung sowohl des Kraft-Geschwindigkeits-Verhältnisses als auch des Kraft-Leistungs-Verhältnisses³³ niederschlägt.

Das Vibrationstraining kann daher mit einer Abfolge von Kontraktionen mit geringer Amplitude gleichgesetzt 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 Spinalreflexes.

In einigen Studien wurde sogar vorgeschlagen, dass die RTV vorwiegend, wenn nicht sogar ausschließlich, über Alpha-Motorneuronen abläuft und nicht die gleichen efferenten kortikalen Muster verwendet wie die willkürliche Bewegung. Es ist jedoch auch möglich, dass die durch die Vibrationen selbst hervorgerufene RTV durch eine Aktivierung neuromuskulärer Spindeln und polysynaptischer³⁴ Aktivierungsmuster eine verstärkte Rekrutierung von motorischen Einheiten bewirkt.

7.3 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DAS KNOCHENGEWEBE

Das Skelettsystem hat 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 ist das Skelett in jedem biologischen Alter keine träge Masse, sondern im 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 einer Reserve in der Entwicklung des Skeletts zu vergessen.

organisches Kalzium

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

- Osteorexorption, die durch Osteoklasten erfolgt;



- Osteobildung durch die Aktivität der Osteoblasten.

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 die Belastung ermöglicht. Aus diesem Grund kann eine Abnahme der mechanischen Beanspruchung des Skeletts ein ernsthaftes Problem für die Erhaltung der Knochenmasse darstellen. So **kann** beispielsweise die **Ruhigstellung durch Gipsverbände zu einem erheblichen und schnellen Knochenverlust führen, der bei Erwachsenen leicht reversibel, bei geriatrischen Patienten jedoch weitgehend dauerhaft ist.**

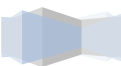
Die Mechanismen, durch die körperliche Aktivität den Prozess des Knochenumbaus positiv beeinflussen kann, sind relativ komplex. Aus zellulärer Sicht scheint es, dass nur die Osteoblasten mit Mechanorezeptoren ausgestattet sind und dass sie gerade deshalb in der Lage sind, positiv auf eine Zunahme der Druckkräfte zu reagieren. Aus demselben physiologischen Grund kann eine Verringerung der Druckkräfte die osteoblastische Aktivität verringern und den Prozess der Knochenresorption unverändert lassen.

Die offensichtlichen Verbesserungen der Muskelfunktionen, die durch die Verabreichung von Vibrationsbehandlungen hervorgerufen werden, führen zu einer sehr effektiven Beanspruchung der biologischen Funktionen der Knochen, an denen sie eingesetzt werden; in der Tat steht die vom Muskelgewebe erzeugte Kraft in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Knochenmasse und ihrer Fähigkeit zu mechanischem Widerstand.

Die Knochenstruktur, die einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt ist, wie z. B. bei intensiver sportlicher Betätigung, 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 Muskelübungen zeigt sich vor allem an der Querachse, die am schwächsten und damit am anfälligsten für Brüche 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 Muskelsystems, ohne ein hohes Maß an Engagement seitens des Patienten zu erfordern, und erweist sich daher in bestimmten Fällen als besonders geeignete Interventionsstrategie. Auch wenn eine klare und unmissverständliche Erklärung der



Phänomen, **die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf die Mechanismen der**
Der Knochenumbau ist offensichtlich und wurde in vielen klinischen Studien bei Patienten festgestellt.



mit Knochenbrüchen oder Osteoporose. In beiden Fällen zeigte sich bei den mit Vibrationstherapie behandelten Probanden ein echter Anstieg der osteogenen³⁵ Aktivität.

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 in der Lage ist, einen Anstieg der BMD zu fördern, **kann man sagen, dass es sich um ein therapeutisches Mittel der Wahl in der Altersmedizin im Rahmen der Therapien zur Behandlung und Vorbeugung von Osteoporose handelt.**

Die 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 eine Rarefizierung des Knochens, eine Ausdünnung und numerische Reduktion der Trabekel und eine Vergrößerung der Markräume sichtbar. Man unterscheidet zwischen einer altersbedingten und postmenopausalen Form und einer Form, die auf eine längere Immobilisierung oder endokrine Störungen zurückzuführen ist. Vor allem in der weiblichen Bevölkerung 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 fortschreitenden Anstiegs des Durchschnittsalters der Bevölkerung hat die Osteoporose inzwischen die Dimension eines echten sozioökonomischen Problems angenommen, von dem die ältere Bevölkerung (und andere) 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 Therapie.** Tatsächlich erweist sich die physiologische **mechanische Stimulation durch Bewegung als besonders nützlich, um sowohl den Knochenverlust zu begrenzen als auch eine Zunahme der Knochenmasse anzuregen.** Die Osteoporose geht nämlich mit einer erhöhten Anfälligkeit für Knochenbrüche einher.

Gerade wegen ihrer Wirkung auf Osteoporose-Patienten kann die mechanische Vibration auch (und vor allem) bei Patienten mit Frakturen der oberen und unteren Gliedmaßen mit erstaunlichen Ergebnissen eingesetzt werden. Die Vibration führt nämlich zu einer Beschleunigung des Knochenwachstums, so dass der gebrochene Knochen in viel kürzerer Zeit als normal verschweißt werden kann, was in erster Linie für den Patienten, aber auch für das nationale Gesundheitssystem offensichtliche klinische und wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Wir möchten darauf hinweisen, dass die Inzidenz von Hüftfrakturen aufgrund einfacher Stürze in der Bevölkerung genauso hoch ist wie in



den Vereinigten Staaten.

der älteren Menschen, Zahlen in der Größenordnung von 90 %, ohne Berücksichtigung der sogenannten Hüftfrakturen, die durch die durch Knochenabbau aufgrund von Osteoporose allein, so dass Vibrationen in diesem Fall äußerst wichtig und nützlich³⁶ sind.



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 ausgeübten Kräfte reagieren, bei gleicher Gesamtbelastung ab; auf diese Weise wird die osteoblastische Aktivität nach und nach von der osteoklastischen Aktivität abgekoppelt, wodurch eine Kaskade physiologischer Phänomene ausgelöst wird, die zu einem mehr oder weniger starken Verlust an Knochenmasse führen.

Es ist auch bekannt, dass der Alterungsprozess zu einer fortschreitenden Sesshaftigkeit des Einzelnen und zu **verschiedenen Krankheiten** führt, darunter (wie oben erwähnt) **Osteoporose**.

Die Fähigkeit der rMV, auf die Kontrolle von Ko-Kontraktionen 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 im Ungleichgewicht zwischen Agonisten und Antagonisten und in der Dyssynergie. **Bei älteren Menschen spielt eine schlechte Gelenkkontrolle zweifellos eine wichtige Rolle beim Verlust der Stabilität und der verminderten Kraft**. Vor allem der Verlust der Stabilität ist von großer Bedeutung, da **das Problem der Stürze enorme soziale Kosten verursacht**: Allein die daraus resultierenden **Oberschenkelbrüche** verursachen jedes Jahr direkte und indirekte Kosten in Höhe von über **einer Milliarde Euro**, und **jedes 65. Jahr sterben 16000 über hundert Menschen**. Darüber hinaus 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 reduziert. Diese Verringerung verstärkt die Ermüdung und Instabilität, und der Kreis schließt sich.

Lange Zeit hat man versucht, dieses Defizit auszugleichen, indem man versuchte, die Kraft des Probanden 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 und dem sich entwickelnden Verlust der propriozeptiven Kontrolle spielen. **Der Verlust der Kontrolle (also mehr als der Verlust der Kraft) veranlasst ältere Menschen dazu, sich zu versteifen, indem sie vermehrt auf Ko-Kontraktionen zurückgreifen. Paradoxe Weise kann man sagen, dass der ältere Mensch eher mit Kraft als mit Gleichgewicht steht**.

Die erste Studie über die Auswirkungen der rMV-Behandlung auf ältere Menschen wurde an der

Universität Perugia in Zusammenarbeit mit der Katholischen Universität und der Universität Sapienza in Rom durchgeführt.

Auch in dieser Studie, die in vorläufiger Form im Eur J Appl Physiol veröffentlicht wurde und 2004³⁸ derzeit geprüft wird, wurde eine Doppelblindstudie durchgeführt, bei der sowohl rMV als auch ein



Falsche Stimulation, der **Quadrizeps von Frauen über 60 Jahren wurde** stimuliert. Die Patienten **erhielten nur eine rMV-Behandlung** und keiner von ihnen nahm vor der Behandlung und während des Studienzeitraums (90 Tage) an einem Bewegungsprogramm teil.

Auch hier kam es innerhalb weniger Stunden²⁴ nach Ende der Behandlung zu einer signifikanten Verbesserung der analysierten Indizes (Sprungkraft und Körperschwingung in monopodaler Haltung), und **in den folgenden 90 Tagen verstärkte sich die Verbesserung noch, wobei bis zum 90.**

Die lange Aufrechterhaltung der Ergebnisse wurde in diesem Fall auf die Konsolidierung der plastischen Effekte zurückgeführt, die auf die spontane Zunahme einfacher täglicher Aktivitäten zurückzuführen ist. **Die Teilnehmer, die mit rMV behandelt wurden** (in den beiden anderen Gruppen wurde kein Effekt beobachtet), **berichteten alle, dass sie sich im Laufe des Tages mit weniger Anstrengung und mehr Leichtigkeit bewegen, z. B. beim Einkaufen, beim Putzen des Hauses, beim Treppensteigen** usw., obwohl sie kein spezifisches Training absolvierten. Das Bild deutet darauf hin, dass rMV den beschriebenen Teufelskreis durchbrochen hat und die Zunahme und Aufrechterhaltung der plastischen Effekte durch Konsolidierung begünstigt.

Diese Studie bestätigte nicht nur die von Marconi und seinen Mitarbeitern aufgestellten Hypothesen, sondern zeigte auch eine **deutliche Steigerung der Beinkraft**. Letzteres lässt sich durch eine bessere Gelenkstabilität und geringere Ko-Kontraktionen erklären, aber es wurde die Frage aufgeworfen, ob es auch eine bessere **Rekrutierung der motorischen Einheiten** geben 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.

Bei Probanden über 65 Jahren, die einer rMV unterzogen wurden, ist eine deutliche Verringerung der Schwelle in den Neuronenpopulationen zu beobachten, die den Quadrizeps kontrollieren, parallel zu einer Zunahme der intrakortikalen Hemmung und der reziproken Fazilitation der Beinbeuger. Die Verbesserung dieser Parameter³, die sich typischerweise mit dem Alter verschlechtern, und ihre anhaltende Verbesserung für mindestens einen Monat (bei älteren Personen ist TMS sehr unangenehm und es ist nicht möglich, viele Tests durchzuführen), belegen eine Kontrastwirkung der rMV gegen eine altersbedingte motorische Verschlechterung. Gleichzeitig wird gezeigt, dass diese



Verschlechterung keineswegs irreversibel ist, sondern im Gegenteil selbst im Zentralnervensystem älterer Menschen noch erhebliche plastische Reserven vorhanden sind.



Aus den jüngsten Studien von Prof. C. Rubin (2009) erfahren wir, wie **mechanische Signale** geringer Stärke (LMMS) das **Wachstum von subkutanem und viszeralem Fett unterdrücken und** gleichzeitig die **Knochenregeneration** fördern können. Diese Prozesse werden durch die direkte **Stimulierung pluripotenter mesenchymaler Stammzellen** (MSC) durch mechanische Signale ausgelöst. Bei diesen Zellen handelt es sich um unreife Zellen mit der Fähigkeit zur Selbsterneuerung und kontinuierlichen Differenzierung in spezialisierte, gewebespezifische Zellen. Unter den zahlreichen Differenzierungswegen **führen diese Zellen zur Osteoblastogenese und zur Adipogenese**, die zur **Bildung von Osteoblasten bzw. Adipozyten führen**.

Die mechanische Stimulation der MSZ aktiviert die Osteoblastenbildung direkt proportional und die Adipogenese indirekt proportional durch die Aktivierung des Transkriptionsfaktors Runx2 für Osteoblasten, der die Differenzierung fördert, und des PPAR γ -Faktors für Adipozyten, der sie unterdrückt. **Auf diese Weise kann diese Methode eine sichere, nicht-invasive und nicht-pharmakologische Strategie zur Vorbeugung von Fettleibigkeit und Osteoporose darstellen.**³⁹

In Bezug auf die letztgenannte Pathologie wurde kürzlich eine Studie (Foti C, Annino G, Bosco C et al., 2009)⁴⁰ an einer Gruppe osteoporotischer Frauen durchgeführt, um die positiven Auswirkungen einer Vibrationsbehandlung in Kombination mit körperlicher Aktivität aufzuzeigen. An dieser Studie nahmen Frauen 26 im Alter von mehreren Jahren 63 teil, die von dieser Pathologie betroffen sind. Sie wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, eine Kontrollgruppe und eine Versuchsgruppe. Alle wurden über Monate 4 hinweg dreimal wöchentlich eine Stunde lang trainiert, und nur die Versuchsgruppe wurde im Anschluss an das Training mit Vibrationen niedriger Intensität bei einer Frequenz von Hz 30 belastet. Am Ende der Studie zeigte sich in der Versuchsgruppe eine Zunahme der Knochendichte, während die Kontrollgruppe keine signifikante Veränderung aufwies. Es wurde also nachgewiesen, dass **diese Methode in Verbindung mit körperlicher Aktivität eine starke, nicht invasive und die einzige nicht-pharmakologische Intervention zur Behandlung von Osteoporose ist.**

7.6 DIE WIRKUNG VON VIBRATIONEN IN DER SCHMERZTHERAPIE

Die schmerzlindernde Wirkung der Vibrationen beruht auf der Theorie der "Gangkontrolle", die Melzack und Wall 1965 aufstellten und auf der die wissenschaftliche Grundlage für die TENS-Ströme (Transkutane Elektrische Nervenstimulation) beruht. Ebenso wie im Fall der Verwendung von

Im Falle von TENS könnten die Vibrationen auch eine 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.⁴¹

Sowohl aus klinischer als auch aus experimenteller Sicht scheint es gerechtfertigt zu sein, zu behaupten, dass Vibration eine neurophysiologische Wirkung hat, allerdings nur eine segmentale. Diese Behauptung wird auch durch die Schnelligkeit gestützt, mit der die analgetische Wirkung registriert wird, und durch ihren ebenso schnellen Rückgang, Faktoren, die von der "reinen" spinalen segmentalen Hemmung zeugen, die von den Vibrationen auf die Ia-Afferenzen ausgeübt wird, was die Übertragung des nozizeptiven⁴² Inputs betrifft.

Vibrationen, Wärme- und Kälteanwendungen sowie elektrische Ströme sind die in der Literatur am häufigsten genannten Methoden zur peripheren Stimulation zu analgetischen Zwecken,⁴³ obwohl Vibrationen offenbar die am wenigsten genutzten dieser Methoden sind. Aus der Bibliographie geht hervor, dass Vibrationen vor allem zu analgetischen Zwecken bei Kopfschmerzen,⁴⁴ Schmerzen des Bewegungsapparats^{47,46} bei einigen schmerzhaften Pathologien neurogenen Ursprungs und bei Schmerzen⁴⁹ im unteren Rückenbereich eingesetzt wurden.⁴⁸

Die Dauer der Anwendung von Vibrationen zu analgetischen Zwecken variiert je nach den verschiedenen experimentellen Arbeitsprotokollen zwischen 5 und 30 Minuten, während die für diesen Zweck am besten geeignete Frequenz bei etwa 100 Hz liegt. Die Anwendungstechnik sieht im Allgemeinen vor, dass die Vibration homolateral auf dem Dermatom, auf dem die Schmerzstelle registriert wird, durchgeführt wird, wobei mit dem Vibrationsgerät ein bestimmter Druck ausgeübt wird. Nach einigen Minuten⁵ der vibrierenden Anwendung verschwinden die Schmerzen oder lassen zumindest deutlich nach, um dann 5-10 Minuten nach Ende der Anwendung wieder aufzutreten. Dauert die Vibrationsanwendung hingegen nur wenige Minuten³⁰, kann die schmerzlindernde Wirkung bis zu 5 Stunden anhalten^{50 51}. **Interessant ist** auch, dass **bei Kreuzschmerzen mittlerer Intensität**, die nicht mit einer Wurzelkompression einhergehen, **die Anwendung von Vibrationen** mit einer Frequenz **von Hz100** und einer Amplitude von 1,5 mm mittels eines **auf der Achillessehne positionierten** vibrierenden Zylinders in der Lage ist, **die Intensität des Schmerzes⁵² in kurzer Zeit drastisch zu reduzieren.**

7.7 DIE AUSWIRKUNGEN VON VIBRATIONEN AUF DEN BLUTKREISLAUF

Die Anwendung mechanischer Vibrationen auf den Körper führt auch zu einer **Steigerung der Blutzirkulation** mit einer Erhöhung der durchschnittlichen Geschwindigkeit des Blutflusses und einer beträchtlichen Senkung des

Widerstandsindex, gemessen durch Doppleruntersuchungen.



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 Blutzirkulation 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

Bericht über den Kongress im Dezember 13, veröffentlicht 2008 auf
"PagineMediche.it".

EINFACHE, WIEDERHOLTE MECHANISCHE VIBRATIONEN VERBESSERN DIE GEHIRNFUNKTION DURCH VERBESSERUNG DER MUSKEL- UND GELENKKONTROLLE ⁵³

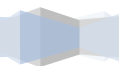
In der Dezember-Ausgabe des Journal of Neurological Science werden neue und ermutigende Ergebnisse eines Verfahrens namens "rMN" (Repeated Muscle Vibration) veröffentlicht, die in den Bereichen Neurologie, Orthopädie, Stabilität bei älteren Menschen und Erholung von Ermüdung bei gesunden Personen erzielt wurden. Die Studien wurden von Forschern des Instituts für Humanphysiologie der Katholischen Universität Rom in Zusammenarbeit mit der Fondazione 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" vorgestellt. Neue klinische Erkenntnisse und neurophysiologische Korrelate", die am Samstag im Dezember 13 im 2008 Policlinico universitario Agostino Gemelli stattfand und von dem katholischen Physiologen Guido Maria Filippi geleitet wurde. Es sprechen: 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, mit dem ausgewählte Bereiche des Nervensystems umprogrammiert werden können. Dieses Verfahren ist das erste, das auf einfache, nicht-invasive und dauerhafte Weise auf die nervliche Steuerung der Muskeln einwirkt. Dank der von Dr. Barbara Marconi (Fondazione Santa Lucia und EBRI) und Prof. Guido M. Filippi (Università Cattolica) durchgeführten Studien ist diese Stimulation in der Lage, die Funktion bestimmter kortikaler Bereiche der die motorische Kontrolle, wodurch Mechanismen aktiviert werden, die zu einer deutlichen

Verbesserung der motorischen Leistung führen können. 35
motorische Funktionen.

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



Das 70. Verfahren, das auf lokalisierten Mikrovibrationen beruht und von den Forschern rMV (Repeated Muscle Vibration) genannt wird, wurde von Professor Filippi, Dozent am Institut für Physiologie der Universität Mailand, entwickelt. Das Verfahren, das auf lokalisierten Mikrovibrationen beruht und von den Forschern "rMV" (Repeated Muscle Vibration) genannt wird, wurde von Professor Filippi, Dozent am Institut für Humanphysiologie der Katholischen Universität Rom, entwickelt. Die Anwendung bestimmter Sequenzen mikromechanischer Schwingungen 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 eingewirkt werden soll, anzuwenden) hat sich als fähig erwiesen, positive und überraschende Wirkungen in einer Vielzahl von Situationen zu erzielen: im neurologischen Bereich, bei der Rehabilitation nach einem Schlaganfall und bei Spastizität und Schläffheit, bei der Kontrolle des Müdigkeits- und Schmerzempfindens und bei der Stärkung der Kraft älterer sturzgefährdeter Menschen, bei orthopädischen Pathologien.

Diese Stärkung ist "langfristig", da sie nach einigen Minuten der Stimulation über Wochen und Monate aufrechterhalten wird. Die anschließende Anwendung dieser Verbesserung (Physiotherapie, Training) konsolidiert, verstärkt und erhält die Wirkung über Monate, in manchen Fällen über viele Monate.

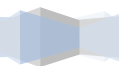
Ergebnisse in der Neurologie, Orthopädie, bei älteren Menschen und gesunden Probanden

Im Bereich der Neurologie hat sich auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Daten gezeigt, dass die rMV in der Lage ist, die motorische Kontrolle über das, was von einer neurologischen Läsion übrig geblieben ist, bei Personen zu verbessern, die noch eine minimale Restmotilität haben. Auch bei Personen mit spastischen Formen (nach einem Schlaganfall oder Trauma), aber mit verbleibenden willkürlichen Bewegungen, wurden erhebliche Verbesserungen festgestellt.

Im orthopädischen Bereich hat sich das Verfahren als sehr wirkungsvoll erwiesen, wenn die Ruhigstellung nach Operationen oder Gelenkschmerzen zu einer schlechten Nutzung der Muskeln führt. Vorläufige Studien, die am Policlinico Gemelli in Rom durchgeführt wurden, haben beispielsweise gezeigt, dass die Schmerzen bei schwerer Arthrose bereits wenige Wochen² nach der Behandlung um bis zu 50 % abnehmen.

In den bisherigen Studien, die von Forschern der Universität Cattolica zusammen mit Kollegen der Universität Perugia (Prof. Enrico Pettorossi) und der Universität La

Sapienza in Rom durchgeführt wurden, hat die auf den Quadrizeps konzentrierte Behandlung der rMV zu einem deutlichen Anstieg der Zahl der älteren Menschen geführt.



In Zusammenarbeit mit der Stadt Rom konnte die Leistung um 70-75 % und die Stabilität um 30-35 % gesteigert werden. Eine Studie, die an älteren Menschen 200 in 65 Rom durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass das Sturzrisiko bei 83 % der Probanden gesunken ist und bei 89 % wieder ein normaler Zustand erreicht wurde. 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 zu einer Steigerung der Ermüdungsresistenz um mehr als 40 % und zu einer Steigerung der Explosivkraft um 27 % bei jungen Personen, die in den Monaten vor der Studie und während der Studie kein Training absolviert hatten.

Auch wenn die Anwendbarkeit des Verfahrens weitreichend und das Ausmaß seiner Wirkungen überraschend erscheinen mag", erklärt der Physiologe der Katholischen Universität Filippi, "muss man bedenken, dass das Verfahren, wie die in Zusammenarbeit zwischen EBRI und der Katholischen Universität Rom durchgeführten Studien zeigen, die Nervennetze und Mechanismen stärkt, die die Muskelkontrolle regulieren, indem es unnötige Kontraktionen minimiert (die bei Spastizität, bei älteren Menschen, die Angst vor Stürzen haben, und bei Personen, die kein ausreichendes Kraftniveau erworben haben, auftreten).

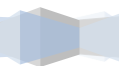
Fluidität" der sportlichen Geste), indem die Rekrutierung der Muskelfasern gefördert wird (was bei sitzenden Menschen aufgrund von Gewohnheiten oder therapeutischen Einschränkungen nicht der Fall ist). Es handelt sich also um eine direkte und gezielte Einwirkung auf ausgewählte Nervennetze, die bei der Steuerung und Koordinierung jeder unserer Bewegungen eine wichtige Rolle spielen. Um falschen Erwartungen vorzubeugen", warnt Filippi, "muss gesagt werden, dass die Behandlung weder Wunder bewirken noch die traditionelle Rehabilitation ersetzen kann. Die rMV eröffnet neue und wichtige Möglichkeiten für die Physiotherapie, die daher auf eine spezialisierte und auf den einzelnen Patienten abgestimmte Weise eingreifen muss".

"Die Verbesserung der Funktion bestimmter Hirnregionen bedeutet eine Verbesserung der Leistung unserer motorischen Muskeln in Bezug auf Kraft, Ermüdungswiderstand und Koordination. Insbesondere die schlechte Koordination äußert sich in Spastizität, Muskelrissen und schlechter Gelenkfunktion, was zu Schmerzen, Arthritis und Arthrose führt. Wenn wir also die Koordination verbessern, verbessern wir auch die Lebensqualität", 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 Zyklen 100 pro Sekunde. Das Gerät ermöglicht es, diese Vibrationen zu erzeugen und vor allem ohne übermäßige Verzerrung an die Muskeln weiterzugeben.

Diese örtlich begrenzte Vibration einzelner Muskeln", so Filippi weiter, "ist ein milder, aber starker Reiz für die Hunderte von Nervensensoren in den Muskeln. Diese 'lesen' die Zyklen 100 für Sekunde und senden sie an die Nervenzentren, die den behandelten Muskel steuern. Die verwendete

stellt einen "Code" für diese Zentren dar, was zu einer Verstärkung der Nervensteuerungsnetze führt. Das zentrale Nervensystem wird "besser" in der Lage, die Muskelbündel zu kontrollieren und zu koordinieren.



BIBLIOGRAPHIE

- ¹ Mountcastle V.B., Rose J.: Touch and kinesthesia in neurophysiology. In: Magoun H.W. (Hrsg.). Handbuch der Physiologie. Amerikanische Physiologische Gesellschaft. Band 1: 387-430, 1959.
- ² Hagbarth K.E.: Die Wirkung von Muskelvibrationen beim normalen Menschen und bei Patienten mit motorischen Erkrankungen. In: Neue Entwicklungen in der Elektromyographie und klinischen Neurophysiologie. Desmet, J.E., Hrsg., S. 428-443. Karger, Basel, 1973.
- ³ Johansson R.S., Valbo A.B.: Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. Trends in den Neurowissenschaften. 6: 27-32, 1983.
- ⁴ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronale Periodizität und Frequenzunterscheidung. J Neurophysiol. 32: 452- 1969.
- ⁵ Cosh J.A.: Studien über die Natur des Vibrationssinns. Clin Sci. 12: 131-151, 1953.
- ⁶ Cauna N., Mannan G.: The structure of human digital Pacinian corpuscles and its functional significance. J Anat (London). 92: 1-20, 1958.
- ⁷ La Motte R.H., Mountcastle V.B.: Die Fähigkeit von Menschen und Affen, zwischen Vibrationsreizen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude zu unterscheiden: Korrelation zwischen neuronalen und psychophysischen Ereignissen. J Neurophysiol. 38:593-559, 1975.
- ⁸ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronale Periodizität und Frequenzunterscheidung. J Neurophysiol. 32: 452- 1969.
- ⁹ Loewenstein W.R., Skalak R.: Mechanische Übertragung in einem Pacinian corpuscle. Eine Analyse und eine Theorie. J Physiol. 182: 346-37, 1966.
- ¹⁰ Rosenkranz K, Rothwell JC. J Physiol 2003; 551.2:649-660; **Rosenkranz K, Rothwell JC.** J Physiol 2004; 561:307-320.
- ¹¹ Auswirkungen der mechanischen Stimulation der Propriozeptoren bei postmenopausalen osteoporotischen Frauen. SINFER Nationaler Kongress 21.-23. September 2004 CHIETI; Auswirkung 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^e Congrès National S.F.M.K.S 3-4-5 Juin 2005 saint-Tropez - Frankreich; Behandlung mit Vibrationsenergie bei Patienten mit infantiler Zerebralparese SINFER Catania 2005.
- ¹² 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.
- ¹³ 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.
- ¹⁴ Gian Nicola Bisciotti - Fakultät für Sportwissenschaften, Universität Lyon (Frankreich); Interfaculty University School of Motor Sciences of Turin (Italien); F.C. Internazionale athletic trainer (Italien) - "The application of vibrations in rehabilitation medicine (New Athletic Research in Science Sport) 2007".
- ¹⁵ G.M. Filippi, F. Camerota, V.M. Saraceni - Artikel: "Mechanische Vibration und motorische Rehabilitation - ein neuer Ansatz zur motorischen Rehabilitation".



Eine neue Chance" - Sci Riabilitaz 2007; 8(2): 55-61.

¹⁶ 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.



-
- ¹⁷ Rosenkranz K, Rothwell JC *J Physiol* 2003;551: 649-660; Rosenkranz K, Rothwell JC. *J Physiol.* 2004;561: 307-320.
- ¹⁸ Rosenkranz K, Rothwell JC. *J. Physiol.* 2004;561: 307-320
- ¹⁹ Heath CJ, Hore J & Phillips CG... *J Physiol* 1976;257:199-227; Hore J, Preston JB & Cheney PD. *J Neurophysiol* 1976;39:484-500; Jones EG & Porter R. *Brain Res Rev*, 1980;203:1-43
- ²⁰ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ²¹ Brunetti O, Filippi GM, Liti A, Panichi R, Roscini M, Pettorossi VE. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1180-1187;
- ²² Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- ²³ Litta-Modignani R, Blivaiss Bb, Magid Eb, Priede I. *Aerosp Med.* 1964;35:662-7.
- ²⁴ Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972
- ²⁵ Jami L, Petit J. *Exp Brain Res.* 1976 Mar 15;24(5):485-93
- ²⁶ Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. *J. Physiol.* 1967;192;773-800.
- ²⁷ R. und van der Meulen J. *Neurophysiol.* 1963; 26:177-90; Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972.
- ²⁸ Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87
- ²⁹ Marconi B, Filippi GM, Koch G, Pecchioli C, Salerno S, Don R, Camerota F, Saraceni VM, Caltagirone C. *J Neurol Sci* 2008;275:51-59
- ³⁰ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ³¹ Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- ³² Runge M., Rehfeld G., Resnicek E. - Gleichgewichtstraining und Bewegung bei geriatrischen Patienten. *J Musculoskel Interact* 1: 54-58, 2000.
- ³³ 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.
- ³⁴ Bisciotti G. N. - Neurophysiologische Aspekte und Anwendungen des Vibrationstrainings, Ph. D. Forschungszentrum für wissenschaftliche Innovation an der Fakultät für Sportwissenschaften der Universität Claude Bernard in Lyon (F), 2005.
- ³⁵ Chestnut C.H. - Knochenmasse und Bewegung (Übersicht). *Amer J of Med* 95(5A):345-365, 1993.
- ³⁶ Gutin B., Kasper M.J. - Kann intensive Bewegung eine Rolle bei der Osteoporoseprävention spielen? (Rezension). *Osteop Int* 2:55-69, 1992.
- ³⁷ Hortobágyi T, del Olmo MF, Rothwell JC *Exp Brain Res* 2006;171:22-329
- ³⁸ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ³⁹ Bisciotti G. N. - Körperliche Aktivität und Osteoporose, *New Athletic Research in Science Sport*.195, 2006
- ⁴⁰ Foti C., Annino G., D'Ottavio S., Masala S., Sensi F., Tsarpela O., Tranquilli C., Bosco C. - Die Wirkung von niederfrequenten Ganzkörpervibrationen hoher Frequenz bei körperlich aktiven osteoporotischen Frauen: eine Pilotstudie. *Med Sport*, 2008.
- ⁴¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgetische Wirkung von Vibration und Kühlung bei Schmerzen, die durch intraneurale elektrische Stimulation ausgelöst werden. *Schmerz.* 18: 239-28, 1984.
- ⁴² Ottoson D., Ekblom A., Hansson P.: Vibrationsstimulation zur Linderung von Zahnschmerzen. *Schmerz.* 10: 36-

45, 1981.



-
- ⁴³ 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 (Hrsg.), Paris. 59-70, 1979.
- ⁴⁴ Lunderberg T., Ottoson D., Hakansson S., Meyersson B.A.: Vibrierende Stimulation zur Kontrolle von hartnäckigen chronischen orofazialen Schmerzen. In: Bonica J.J., Lindbloom U., Iggo A.: Advances in pain research and therapy. Vol Raven5. Press (Eds). New York. 555-561, 1983.
- ⁴⁵ Lunderberg T.: Die schmerzunterdrückende Wirkung von Vibrationsstimulation und transkutaner elektrischer Nervenstimulation (TENS) im Vergleich zu Aspirin. Brain Res. 284: 201-209, 1984.
- ⁴⁶ Lunderberg T., Abrahamsson P., Bonesson L., Haker E.: Vibrationsstimulation im Vergleich zu Placebo bei der Linderung von Schmerzen. Scand J Rehab Med. 19: 153-158, 1987.
- ⁴⁷ Lunderberg T., Nordemar T., Ottoson D.: Schmerzlinderung durch vibrierende Stimulation. Schmerz. 20: 25-44, 1984.
- ⁴⁸ Casale R., Giordan A., Tiengo M.: Spinal nociceptive reflex responses. Variation der nozizeptiven Reflexe. Rall und lumbosziatalgische Schmerzen, ausgelöst durch TENS und Vibration. Minerva Anest. 51: 217-229, 1985.
- ⁴⁹ Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. In: Tiengo M et al. Fortschritte in der Schmerzforschung und -therapie. Raven10. Press (Hrsg.), New York. 77-83, 1987.
- ⁵⁰ Kemppainen P.: Modification of human dentalpain threshold by conditioningvibrotactile stimulation at ight frequency. Arch Oral Biol. 10: 959-962, 1983.
- ⁵¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgetische Wirkung von Vibration und Kühlung bei Schmerzen, die durch intraneurale elektrische Stimulation ausgelöst werden. Schmerz. 18: 239-28, 1984.
- ⁵² Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. In: Tiengo M et al. Fortschritte in der Schmerzforschung und -therapie. Raven10. Press (Hrsg.), New York. 77-83, 1987.
- ⁵³ Policlinico Gemelli, Articolo veröffentlicht im Dezember15 auf 2008PagineMediche.it Nachrichten



