

Ganzkörpervibration (GKV) - Methoden und Indikationen. Eine Literaturübersicht

H. Mayr¹, K. Ammer²

¹Institut für Physikalische Medizin, Rehabilitation und Rheumatologie, (Leiter: Prim. Dr. H. Mayr) Sanatorium Hera, Wien
²Institut für Physikalische Medizin & Rehabilitation (Leiter: Prim. Dr. S. Brandstätter), Hanuschkrankenhaus, Wien

Die Ganzkörpervibration ist eine relativ neue Form der Bewegungstherapie, die im Training von Sportlern, in der Sportmedizin und in der Rehabilitation immer häufiger eingesetzt wird. Die physikalischen und physiologischen Grundlagen dieser Therapieform werden dargestellt und mögliche Indikationen, Kontraindikationen und Nebenwirkungen werden besprochen. Schließlich werden die Ergebnisse klinischer Studien diskutiert, wobei der Schwerpunkt bei der Indikation Osteoporose und Sturzprävention bei betagten Patienten liegt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt muss die Behandlung mit Ganzkörpervibration als interessante Variante der Bewegungstherapie bezeichnet werden, zu deren Wirksamkeit, besonders in den oben genannten Indikationen noch nicht endgültig Stellung genommen werden kann

WHOLE BODY VIBRATION - METHODS AND INDICATIONS. A REVIEW OF THE LITERATURE

Whole body vibration is a relatively recent form of exercise therapy, which is increasingly used in athletic training, sports medicine and rehabilitation. The background in physics and physiology of this treatment, possible indications, contraindications and adverse effects of this therapy are discussed. Results of clinical studies focussing on treatment of osteoporosis and prevention of falls in frail patients are finally presented. Currently, whole body vibration therapy may be regarded as an interesting variant of exercise of which the effectiveness cannot yet be determined.

Einleitung

Die Ganzkörpervibration (GKV) und ihre schädliche Wirkung auf den Bewegungsapparat ist in der Arbeitsmedizin ein seit langem diskutiertes Thema (1,2, 3). Als therapeutische Intervention hat die GKV in den letzten Jahren starke Aufmerksamkeit gefunden. Für die Beeinflussung der Leistungsfähigkeit der Beinmuskulatur (4) und die Wirksamkeit als Methode zum Krafttraining liegen inzwischen auch systematische Reviews vor. Im folgenden Überblick wird versucht, in Analogie zu einem Beipackzettel eines Medikamen-

Tabelle 1
Struktur eines Beipackzettels

- Zusammensetzung
- Anwendungsgebiete
- Dosierung, Art und Dauer der Anwendung
- Gegenanzeigen
- Wechselwirkungen
- Schwangerschaft und Stillzeit
- Nebenwirkungen
- Pharmakodynamik
- Pharmakokinetik
- Präklin Daten zur Sicherheit
- Pharmazeut. Angaben

tes (Tabelle 1), die Therapiemodalität Ganzkörpervibration zu beschreiben.

Ganzkörpervibrations-Training (GKV)

Die Ganzkörpervibration muss eindeutig als Bewegungstherapie klassifiziert werden. Zur Bewegungstherapie meint der Internist und Experte des Medizinischen Trainings Paul Haber *„Es gibt kein Medikament, das so viele erwünschte Wirkungen hat und so wenige Nebenwirkungen wie Bewegung. Das Medikament „Bewegung“ hat einen großen Nachteil! Es muss vom Patienten selbst aktiv mit einiger Mühe hergestellt werden.“*

Möglicherweise hat die Ganzkörpervibration gegenüber den herkömmlichen Bewegungstherapien gewisse Vorteile, da eine passive Induktion von Muskelaktivität erzielt wird und die Behandlung eine hohe Wiederholungszahl bei Trainingseinheiten von wenigen Minuten wöchentlich erlaubt. Das führt zu einem Zeitvorteil für Anwender und Therapeuten. Eine Erhöhung der Muskelleistung ist wahrscheinlich. Die exakte Dosierbarkeit der Belastung am knöchernen Skelett ist insbesondere für die Behandlung einer verminderten Knochenmasse bei Osteoporose oder Osteogenesis imperfecta von großer Bedeutung.

Physikalische Begriffsbestimmung

Vibration

Allgemein beschreibt eine Schwingung (= Oszillation) eine Funktion, die eine physikalische Zustandsgröße in Abhängigkeit von der Zeit definiert. Unter Vibration versteht man eine mechanische Schwingung (6), die hörbar und/oder fühlbar ist.

Die bekannteste Erscheinungsform von Schwingungen ist die Sinus förmige Schwingung. In Abbildung 1 finden sich weitere Beispiele von Oszillationen.

Die Eigenschaften einer Schwingung wie Periodendauer, Frequenz (Periode/Zeit,) Schwingungsform, Stärke (Amplitude der Schwingung), Regelmässigkeit und Schwingungsebene erlauben eine Dosierung der GKV.

Für die therapeutische Ganzkörpervibration kommen einerseits regelmässige Sinus-Schwingungen, die entweder (kippend), das heißt durch Kippen der Plattform, oder hebend eingesetzt werden (Abbildung 2). Andererseits werden dreidimensionale Zufallsschwingungen therapeutisch genutzt. Der Frequenzbereich liegt zwischen 1 und 50 Hz.

Indikationen für die GKV

Als Indikationen der GKV werden Kraft-/ Leistungsverlust z. B. nach Immobilisation, Diabetes, nach Unfällen und Operationen, Sturzsyndrom und Alters assoziierte multifunktionelle Gehstörungen, chronische Rückenschmerzen, Muskelatrophie, Balancestörungen, Inkontinenz (vorwiegend Stressinkontinenz), Osteoporose, Osteogenesis imperfekta, weichteilrheumatische Erkrankungen (Fibromyalgie, benignes Gelenkhypermobilitätssyndrom) M Parkinson, Multiple Sklerose, Polyneuropathie und Paresthesien (z.B. nach Wurzelkompression) genannt.

Die Verminderung von Osteoporose bedingten Knochenfrakturen wird einerseits durch die Verbesserung von Knochenqualität (8-14) und Balance (14-20) erzielt. Aus einer Muskelkräftigung (4,5, 21, 22) und verbessertem Gleichgewicht sollte es zu einer Reduktion von Stürzen (23) und damit zu der gewünschten Verminderung von Frakturen (24) kommen. Die Zunahme von Knochenmasse bei Kindern mit Osteogenesis imperfekta wurde berichtet (25) Die Reduktion der Intensität chronischer Rückenschmerzen wurde in einer randomisierten Studie gezeigt (26). Die Ergebnisse der Inkontinenzbehandlung liegen nur in Abstractform vor und sind widersprüchlich (27,28). Zum therapeutischen Effekt bei M. Parkinson (29, 30, 31) finden sich

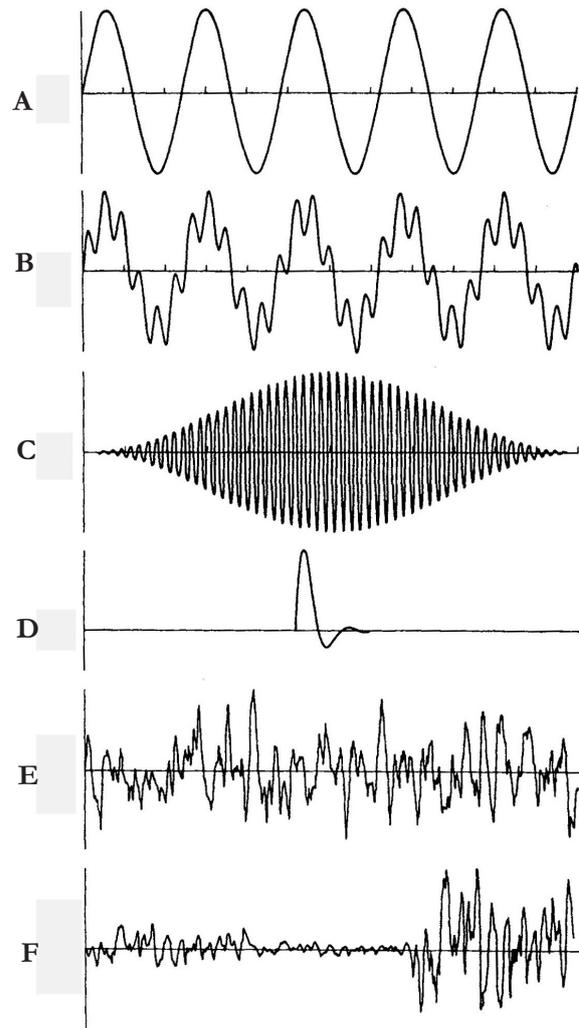


Abbildung 1
 Formen von Schwingungen (nach 1)
 A= sinusförmige B: überlagerte Sinusschwingungen
 C = zeitlich begrenzte (geschwellte) Schwingung
 D:Stossförmige Schwingung
 E: stationäre zufällige Schwingung,
 F= nicht stationäre zufällige Schwingung

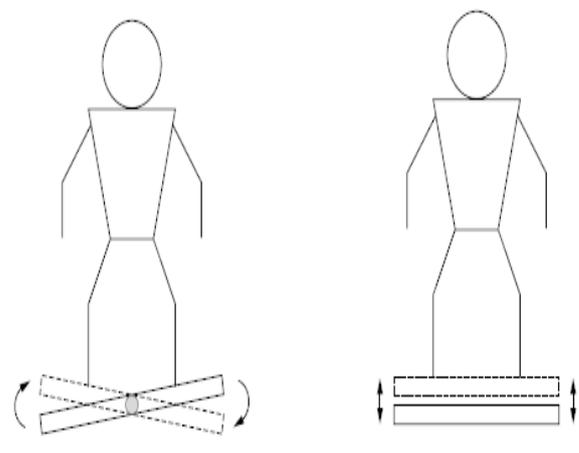


Abbildung 2
 Kippende und hebende Vibrationsplatten (nach 7)

in PubMed nur 3 Publikationen (die alle von der selben Autorengruppe stammen). Eine einzige Arbeit berichtet die Ergebnisse einer Pilotstudie bei Patienten mit Multipler Sklerose (32). Eine Literatursuche in PubMed fand mit dem Schlüsselwort “whole body vibration“ in Kombination mit “incontinence“ oder “fibromyalgia“ oder “benign joint hypermobility“ oder “flat foot“ oder “polyneuropathy“ oder “paraesthesia“ keine Treffer.

Kontraindikationen

Als absolute Kontraindikationen der GKV gelten fieberhafte Erkrankungen. Die relativen Gegenanzeigen der Ganzkörpervibration reichen von frischen Thrombosen, Zustand nach rezenter Operation, rezente Implantate bzw. Frakturen, akute Entzündungen, akute Tendinopathien, akute Hernien, akute Diskopathien, frische Wunden und Narben über aktivierte Arthrosen und Arthropathien, Schwangerschaft, akute Migräneanfälle, rheumatoide Arthritis, Epilepsie, Steinleiden der Gallenwege und der ableitenden Harnwege bis zu Malignomen.

Unerwünschte Wirkungen

Die Kontraindikationen werden zum Teil mit Befunden aus der Arbeitsmedizin begründet, wobei die Folgen der Exposition des gesamten Körpers oder von Körperteilen seit langem untersucht werden. Insbesondere die „Kettensägerarbeiterkrankheit“ (33-37), Kreuzschmerzen bei LKW- und Busfahrern (38-40) sowie die Häufung von Koxarthrosen bei Bauern (41) sind oft genannte Folgen einer Vibrationsbelastung. Daneben werden als unerwünschte Wirkungen Juckreiz (42), Blutdruckabfall (42) sowie Schmerzzunahme bei aktivierten Arthrosen, Entzündungen und muskulentendinösen Reizzuständen genannt. Im Jahr 2003 berichtete Crevenna (43) eine rasche muskuläre Ermüdbarung bei 14 herztransplantierten Patienten, die eine GKV-Therapie durchgeführt hatten. Eine durchschnittliche Therapiedauer von 248 Sekunden (Bereich: 51-607) führte bei diesen Patienten zur Erschöpfung. Bei 20 Probanden im Alter von 25-35 Jahren führte die GKV mit 26 Hz zu keiner Durchblutungsbeeinträchtigung (44). Iwamoto, der 25 Osteoporosepatienten mit GKV behandelt hatte, berichtete keine unerwünschten Wirkungen (13). Ebenso wurden von Rubin et al (45) keine unerwünschten Effekte bei der Vibrationstherapie beobachtet und die GKV als sichere Behandlungsoption bezeichnet.

Physiologische Grundlagen der GKV

Die Erforschung von Vibrationen der Muskulatur hat in Österreich eine mehr als 60 jährige Tradition. So beschrieb der Psychologe Rohrachner 1943 in der ruhen-

den Muskulatur Muskeleigenschwingungen von 7-13 Hz (46). Galliasch und Kenner haben die Ursachen dieser Muskelschwingungen weiter untersucht und sie als Resonanzphänomene des Herzschlags in Knochen und Muskulatur geklärt (47).

Vladimir Nasarov wird oft als Erfinder der Biomechanische Muskelstimulation (BMS) genannt. Seriöse Publikationen zu dieser Form der Beeinflussung der Muskelfunktion liegen jedoch kaum vor (48,49). In der wiederholt (und hinsichtlich der Autoren unvollständig) zitierten Arbeit der Gruppe um G.D.Whedon wurde schon 1949 darauf hingewiesen, dass beim Liegen in einem oszillierendes Bett ein geringerer Verlust an Muskelmasse und Kraft beobachtet wurde als beim Liegen in einem normalen, fixiertem Bett (50). Auch der Knochenstoffwechsel und die orthostatische Blutdruckregulierung war bei der Vibrationsbelastung günstiger als beim Ruhen in einem üblichen Bett. Schließlich wurde ausgehend von der Materialprüfung bei der Ski-Testung beobachtet, dass die testenden Sportler von der Vibrationsbelastung im Sinne einer Kräftigung und Koordinationsverbesserung profitierten (51,52).

Wirkung der GKV an der Muskulatur

Die Ganzkörpervibration beeinflusst die Muskulatur im Sinne einer Muskelkräftigung, sie wirkt aber auch

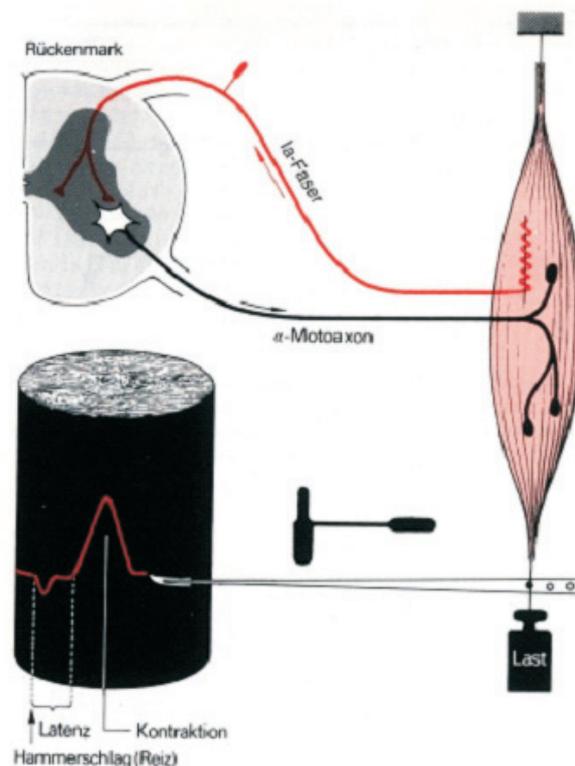


Abbildung 3
Schematische Darstellung des Reflexbogens des monosynaptischen Dehnungsreflexes

Muskel entspannend und hat Einfluss auf die Sensorik im Sinne einer Reflexmodifikation. Auf Grund des letztgenannten Mechanismus hat die GKV möglicherweise therapeutisches Potential beim M Parkinson und bei spastischen Lähmungen. Koordination und Balance kann durch die Vibrationstherapie verbessert werden und letztlich ist die Zugbelastung der Muskulatur am Knochen ein wesentlicher Stimulus zum Knochenmasseaufbau.

Abbildung 3 stellt den monosynaptischen Dehnungsreflex dar. Dieser wird durch die Muskelspindel vermittelt, die auch an der Reizverarbeitung durch Vibration beteiligt sind. Vibration führt wahrscheinlich über einen zentralnervösen Angriffspunkt zur Reduktion phasischer Reflexe und damit zur Dämpfung von Spastik und Tremor. Vibrationen einer Frequenz von mehr 20 Hz führen zu tonischen Kontraktion im vibrierten Muskel: Tonischer Vibrationsreflex (TVR). Dieser Reflex wird durch die Muskelspindelregung bzw. dem Golgi Sehnenorgan vermittelt und führt zu einer Kraftsteigerung. Der größte Zuwachs an EMG Aktivität des M.vastus medialis wurde bei einer Frequenz von 30 Hz beobachtet (53). Vibrationsfrequenzen unter 20Hz, führen zur Muskelentspannung.

Besonders wichtig sind Kenntnisse über die Übertragung von Vibrationen auf bestimmte Körperteile. Für die Arbeitsmedizin und den vibrationsabhängigen Kreuzschmerz sind vor allem Frequenzen unterhalb von 15 Hz von Bedeutung (54). Rubin et al. haben die Transmission von Vibrationen von der Fußsohle zur Hüfte (Trochanter) bzw zur Lendenwirbelsäule (Dornfortsatz L4) untersucht und gefunden, dass die Übertragung einerseits von der Vibrationsfrequenz und andererseits von der Körperhaltung abhängig ist. Die Übertragung zur Hüfte nahm linear mit Zunahme der Frequenz ab. Eine Kniebeugung in 20° verminderte die Vibrationstransmission an der Hüfte deutlicher als an der Wirbelsäule, während bei aufrechter und bei entspannter Haltung die Hüfte deutlicher belastet war als die Wirbelsäule.

Ein systematischer Review zur GKV als Methode zur Förderung der muskulären Leistung der Beine (4) berichtet, dass mäßige bis starke Evidenz für die Langzeitwirkung bei untrainierten und älteren Frauen besteht, jedoch keine klare Evidenz für eine Sofortwirkung vorliegt. Ein Überblick zur GKV als Krafttraining kommt zu dem Schluss (5), dass für die GKV keine additive Wirkung für herkömmliches Krafttraining nachgewiesen ist.

Wirkung der GKV auf den Knochen

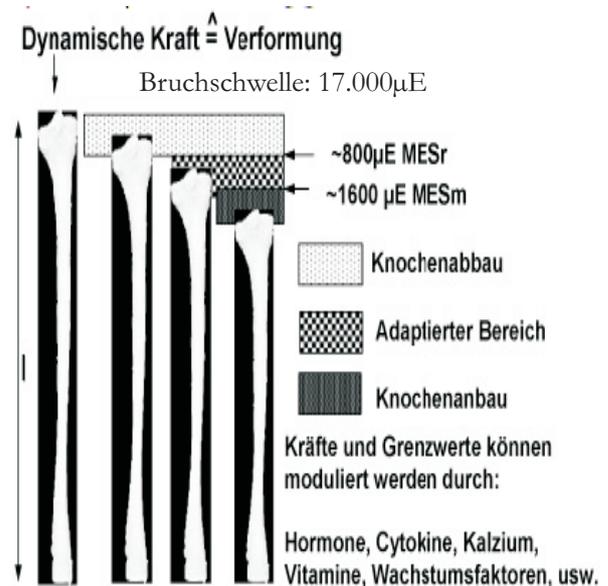
Um osteoporosebedingte Knochenbrüche zu verhindern, bedarf es neben der Verbesserung der Knochen-

festigkeit auch eine Verhinderung von Stürzen, die durch Muskelkräftigung und Schulung der Sensorik erreicht werden kann. Tierexperimentelle Untersuchungen stützen die Aussage eines erhöhten Knochenaufbaus durch Vibration. Oxslund et al. behandelten erfolgreich ovariectomierte Ratten täglich, 30 Minuten lang mit 45 Hz, während niedere Frequenzen weniger wirksam waren.(55). Flieger und Mitarbeiter (8) berichteten 1998 die erfolgreiche Beseitigung einer Osteoporose bei ovariectomierte Ratten durch eine GKV von 50 Hz, 2 g, 30Min/Tag.

Rubin stimulierte Schafe mit einem minimalen Reiz von 5 µE (Strain) bei einer Frequenz von 30 Hz und beobachtete bei täglich 20 minütiger Behandlung ausschließlich eine Dickenzunahme der Spongiosa, jedoch nicht der Korticalis des Knochens (10). Mechanische Reize aktivieren die Syntheseleistung in Osteoblastenkulturen (56, 57), modifizieren die Osteocalcin-Synthese (57), beeinflussen die Verteilung und Mineralisierung von Knochenmatrixproteinen (58) und fördern den Informationsaustausch zwischen Osteozyten und Osteoblasten (59). Der Prozess der Mechano-transduktion im Knochen geschieht in vier Schritten 1. mechanische Ankopplung 2.biochemisches Ankopplung, 3. Signalübertragung und 4. Antwort der Effektorzellen (60)

Harold Frost beschrieb in einem Übersichtartikel, wie sich das Verständnis der Skelettphysiologie in den 60iger Jahren wesentlich gewandelt hatte, indem zunehmend deutlich wurde, dass mechanische Reize wesentlich zum Wachstum, der Formgebung, Umgestaltung und Bewahrung des Skeletts beitragen (61).

Abbildung 4
Anpassung der Knochenmasse and mechanische Reize



Der Verformung der Knochen = Strain kommt dabei große Bedeutung zu. Sie wird in μ Strain gemessen, wobei 1000 μ Strain einer Längenänderung von 0,1% entsprechen. Unterschiedliche Schwellenwerte lösen einerseits Vorgänge zum Bewahren des Ist-Zustandes aus und führen andererseits zum vermehrten Aufbau von Knochenmasse und Erhöhung der Festigkeit des Skeletts. Fällt die mechanische Belastung unterhalb des Schwellenwertes zum Knochenumbau, führt die mangelnde mechanische Reizung zur aktiven Abbau von Knochenmasse und zur Verringerung der Knochenmasse.

Die Gesamtheit der Zusammenhänge zwischen Knochenmasse, Knochenfestigkeit und Knochenarchitektur ist Inhalt der von Frost formulierten, und wiederholt weiterentwickelten Mechnostat-Hypothese (62, 63,64). Messungen der Strainintensität wurden wiederholt durchgeführt (65,66). Für die meisten Tierarten beträgt die Verformung der Knochen zwischen weniger als 1000 μ Strain beim Gehen, über 2000 bis 3200 μ Strain bei anstrengenden Tätigkeiten bis zu 5000 μ Strain (letztere bei galoppierenden Rennpferden gemessen) (67).

Bettruhe führt zur einer Verminderung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie zu einer Verminderung kardiovaskulärer, hämatologischer, thermoregulatorischer, immunologischer, endokriner, metabolischer und muskuloskelettärer Funktionen (68). Am Knochen kommt es nach Wochen langer Bettruhe auch bei Gesunden zu ähnlichen, jedoch quantitativ geringer ausgeprägten Veränderungen wie nach Einwirkung einer verminderten Schwerkraft (69).

2003 wurde im Auftrag der Europäischen Raumfahrtbehörde (ESA) in Berlin eine "Bed Rest" Studie begonnen, in der als präventive Maßnahme gegen den Verlust an Muskelkraft und Knochenmasse ein Vibrationstraining an den Beinen durchgeführt wurde (70-75). Für die Beeinflussung der Knochen liegen Ergebnisse nur in Abstraktform vor (70), wobei der Mineralgehalt der Epiphyse der Tibia in der nicht behandelten Gruppe um 4% vermindert berichtet wurde, während die Probanden mit Vibrationsbehandlung nur eine Verminderung des Knochenmineralgehalts um 0,5% boten. Nach 56 Tage lang dauerende Bettruhe wurde die Gefäßweite der Femuralarterie vermindert gefunden. Probanden nach Vibrationsbehandlung boten jedoch eine signifikant weniger deutliche Einengung der Femuralarterie als unbehandelte Personen (71). Die Kraft der Plantarflexion verminderte sich bei den Probanden um 18,6%, während sie in der Gruppe mit Vibrationsbehandlung unverändert blieb (72). Ebenso

blieb das Verhältnis von Typ1/Typ2 Fasern im M. soleus in der behandelten Gruppe unverändert, während die Zahl der Typ 2 Fasern im Wadenmuskel der nicht behandelten Probanden um mehr als 140% zunahm (72). Eine Verschiebung des Verhältnis von tonischen zu phasischen Muskelfasern wurde auch im Lenden-Bereich, insbesondere bei den kurzen Lendenmuskeln beobachtet (73). Am Quadriceps wurde ohne Vibrationstraining eine Abnahme des Muskelquerschnitts um $14,1 \pm 5,2\%$ berichtet, während bei behandelten Probanden die Querschnittsfläche des Quadriceps sich nur um $3,5 \pm 4,2\%$ verminderte. Der Verlust der Maximalkraft ohne Vibrationstraining betrug $16,8 \pm 7,4\%$ (74). Außerdem wurde eine veränderte Koordination der Bauch- und Rückenstreckmuskulatur beobachtet, wobei nach Bettruhe mehr Aktivität in den oberflächlich gelegenen Muskeln und verminderte gemeinsame Aktivierung von Lendenstreck- und Lendenbeugemuskulatur gefunden wurde (75). Angaben, ob diese muskuläre Koordinationsveränderung durch Vibrationstraining beeinflusst werden, liegen nicht vor.

Klinische Osteoporose-Studien mit GKV

In einer unkontrollierten, prospektiven Pilot-Studie wurden fünf postmenopausale Frauen täglich 2 mal 10 Minuten lang mit Vibrationen von 30Hz und einer Intensität von 0,2g 12 Monate lang behandelt (76). Es wurde nach Abschluss der Therapie am proximalem Femur der nicht dominanten Seite eine signifikante Zunahme des Knochenmineralgehalts um $2,03 \pm 0,33\%$ gefunden.

Eine randomisierte, Plazebo kontrollierte Studie behandelte 70 postmenopausale Frauen mit identen Stimulationsparametern wie oben erwähnt (9). Eine intention-to-treat Auswertung konnte keine signifikanten Unterschiede im Knochenmineralgehalt zwischen Vibrationsbehandlung und Plazebo nachweisen. Allerdings ergab eine post hoc-Analyse von Untergruppen Hinweise auf Vorteile für Patientinnen mit hoher Compliance für die Vibrationsbehandlung.

Eine belgische Studie hat beim Vergleich der Kombination von Krafttraining plus GKV mit einem kombinierten Ausdauer- und Krafttraining bzw. nicht behandelten Kontrollen nur bei Patienten mit Vibrationsstraining nach 6 Monaten eine Zunahme der Knochen-dichte um 0,93% gefunden, während es in den beiden Vergleichsgruppen zu einer Abnahme der Knochen-dichte um jeweils 0,6% gekommen war (14). Die isometrische Kraft der Kniestrecker vermehrte sich nach Vibrationsbehandlung um 15 % und nach dem Ausdauer-Krafttraining um 16 %. Die dynamische Kraft,

isokinetisch gemessen, nahm in der Gruppe mit GKV um 16,5% und in der Gruppe mit Ausdauer-Krafttraining um 10,6% zu.

Ein in Japan durchgeführter Vergleich an 50 postmenopausalen Frauen im Alter von 55-88 Jahren, die 1 Jahr lang entweder täglich 5 mg Alendronate einnahmen oder zusätzlich zur Bisphosphonattherapie 1 mal wöchentlich, 4 Minuten lang eine GKV von 20 Hz erhielten, zeigten hinsichtlich der Knochendichte keine signifikanten Unterschiede. Allerdings hatten die mit GKV behandelten Patienten deutlich weniger Rückenschmerzen (13).

Eine Schmerzreduktion berichtet auch eine Studie, in der GKV gegen Extensionübungen bei chronischen Kreuzschmerzen untersucht wurde (25). Die Schmerzreduktion nach GKV betrug an der visuellen Analogskala 3,3cm und war dem Effekt einer konventionellen Bewegungstherapie (Extensionsübungen) ähnlich. Die Kraftzunahme war geringer als in der Gruppe mit Bewegungstherapie, die Reduktion der Behinderung jedoch noch 6 Monate nach Abschluss der Behandlung nachweisbar. Unerwünschte Wirkungen wie Schmerzzunahme wurden nicht beobachtet.

Kinder, die an einer Zerebralparese oder einer systemischen neuromuskulären Erkrankung leiden, zeigen eine verminderte Mobilität, eine geringe Knochendichte und eine erhöhte Knochenbrüchigkeit. Eine Vibrationsbehandlung (90 Hz, 0,3g, 10 Minuten lang, 5 mal/Woche durch 6 Monate) solcher Kinder mit eingeschränkter Mobilität hat im Vergleich zu Placebotherapie eine signifikante Erhöhung der Knochendichte an der proximalen Tibia erzielt (26).

Bei jungen Frauen im Alter zwischen 15 und 20 Jahren mit geringer Knochendichte führte die tägliche 10 Minuten dauernde GKV mit 30 Hz und 0,3 g Intensität nach 1 Jahr zu einer Zunahme der Knochendichte an der Spongiosa der Lendenwirbel um 3,1% und an der Compacta des Femurschaftes um 3,4%. Außerdem nahm der Querschnitt der parasvertebralen Muskulatur um 4,9% zu.

GKV und Gleichgewicht und Koordination

5 Serien a 60 Sekunden einer stochastischen, dreidimensionalen GKV von 6Hz und 3mm Amplitudenhöhe haben bei Patienten mit M. Parkinson das Gleichgewicht im Tandemstand signifikant verbessert (29), im engen Stand und in der Proprioception jedoch kein Unterschied zur Kontrollgruppe erzielt (30). In den Domänen Tremor, Rigidität, Bradykinese und Haltung & Gang der UPDRS (Unified Parkinson Disease Rating Scale) wurde ebenfalls eine signifikante Verbesserung erreicht (31).

Torvinen hat 2002 den Soforteffekt vertikaler (78) und kippender Vibrationsreize (79) jeweils im Vergleich zu einer Pseudobehandlung untersucht. 16 Probanden (8 Männer und 8 Frauen im Alter zwischen 24-33 Jahren) wurden randomisiert im Cross-over Design beiden Behandlungen zugeordnet. Das Training dauerte 4 Minuten. 10 Minuten vor, 2 und 60 Minuten nach dem Training wurden das Gleichgewicht (Biodex Stability System), die Ausdauer (shuttle run test), die isometrische Streckkraft der Beine, die Griffstärke und die Muskelleistung beim vertikalen Sprung gemessen. Außerdem wurde ein Oberflächen EMG der Muskeln soleus, gastrocnemius und vastus lateralis aufgezeichnet.

Kippende Vibrationsreize wurden mit dem Galileo® appliziert, wobei jeweils 1 Minute lang mit 15, 20, 25, und 30 Hz (entsprechend 3,5-14g) behandelt wurde (78). Es kam in der Verumgruppe zu einer vorübergehenden Netto-Verbesserung der Balance um 15,7%, der Muskelleistung um 2,5 % und der Beinstreckkraft um 3,2%, die 2 Minuten nach der Vibrationsexposition beobachtet wurde.

Vertikale Vibrationsreize wurden mit dem finnischen Gerät Kuntotäry® angewendet (79). Die Frequenzen 25, 30, 35 und 40 Hz wurden jeweils 1 Minute mit einer Amplitude von 2mm appliziert. Obwohl im Oberflächen-EMG der Muskeln vastus lateralis und gluteus medius Zeichen der Muskelermüdung zu sehen waren, kam es zu keinen signifikanten Veränderungen des Gleichgewichts und der Muskelleistungsparameter.

Für vertikaler Vibrationsreize liegen auch Ergebnisse nach 4 (16) und 8 Monate (17) dauernder Behandlung vor. 56 Probanden (35 Frauen, 21 Männer im Alter von 19 bis 38 Jahren) wurden entweder einem Vibrationstraining oder einer Pseudobehandlung zufällig zugeordnet. Beide Gruppen führten auf dem Vibrationsgerät ein leichtes Übungsprogramm durch. Das Training erfolgte 3 bis 5 mal wöchentlich (durchschnittlich $3,1 \pm 0,9$). Die Ergebnisparameter wurden 2, 4 und 8 Monate nach Beginn der Studie erhoben und waren die gleichen wie in der Studie zur Überprüfung des Soforteffektes. Außerdem wurde vor dem Training und 8 Monate danach der Knochenmineralegehalt an der Lendenwirbelsäule, am proximalem rechten Femur, am Calcaneus und am distalen Radius der nicht dominanten Hand mittels DXA-Technik bestimmt. An der rechten Tibia wurde im Bereich des Schaftes und distal eine quantitative Computertomographie durchgeführt, wobei die kortikale und spongiöse Knochendichte der daraus abgeleitete Knochenfestigkeitsindex (bone strength index= BSI) erhoben wurden. Außerdem wurden Knochenumsatzmarker nach 3, 6 und 8 Monaten untersucht.

In der Interventionsgruppe kam es beim vertikalen Sprung zu einer Nettozunahme der Sprunghöhe von 10,2% nach 2 Monaten, von 8,5% nach 4 Monaten und von 7,8% nach 8 Monaten. Die Beinstreckkraft erhöhte sich nach 2 Monaten um 3,7%. Alle übrigen Ergebnisparameter einschließlich der Knochenmineralgehaltsmessung und der Knochenumsatzmarker zeigten zu allen Zeitpunkten keine signifikante Gruppenunterschiede.

M. Runge von der Aerpah-Klinik in Esslingen hat eine randomisierte kontrollierte Studie im cross-over Design zur Wirksamkeit der GKV auf das Gleichgewicht geriatrischer Patienten durchgeführt (15). 39 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 67 Jahren (Bereich: 61-85) absolvierten in zufälliger Reihenfolge entweder 2 Monate lang ein GKV-Training am Galileo® (kippende Vibrationen, 27 HZ, 7-14mm, 3mal 2 Minuten, 3 mal/Woche) in der Interventionsgruppe oder nahmen an der Kontrollgruppe teil. Hauptergebnisparameter war das Ergebnis des Aufstehetests (=chair rising test), für den die Autoren einen Mittelwert von $9,1 \pm 2,0$ (Bereich 5,4 -19,4) Sekunden angeben, der sich aus einer Gruppe von fitten 212 Personen im Alter zwischen 60- und 90 Jahren ableitet. Nur in der Interventionsgruppe kam es zu einer signifikanten Verringerung des Zeitbedarfs für den Aufstehetest um 18% (von $8,0 \pm 1,2$ vor dem Training auf $6,5 \pm 0,9$). In der Publikation fehlen leider detaillierte Angaben zum Ergebnis der Kontrollgruppe.

Eine Studie aus Florenz (21) hat 14 postmenopausale Frauen mit einem Durchschnittsalter von 61 Jahren im Vergleich mit 15 nicht behandelten Kontrollpersonen untersucht. Behandelt wurde mit kippenden Vibrationsimpulsen einer Frequenz von 28 Hz, 3 mal 2 Minuten, 2mal pro Woche. Im ersten Monat wurde die Frequenz von 12Hz langsam auf 28 Hz. angehoben, in den folgenden 5 Monaten blieb die Vibrationsfrequenz mit 28Hz konstant. Neben der Muskelleistung beim vertikaler Sprung wurden Knochenumsatzparameter und die computertomographisch bestimmte Dichte der Cortikalis und der Spongiosa der Tibia als Ergebnisparameter gemessen. Der vertikale Sprung wurde auf einer Beschleunigungsmessplatte durchgeführt und aus den Bodenreaktionskräften wurde auf die muskuläre Leistung geschlossen. Nach 6 Monate dauernder GKV kam es zu einer Verbesserung der Muskelleistung um 5%. Alle anderen Ergebnisparameter zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe,

In einem belgischen Pflegeheim behandelten Bautmans und Mitarbeiter 24 Heimbewohner im Alter von $77,5 \pm 11,0$ Jahren im Rahmen einer randomisierten Studie entweder mit Krafttraining auf hebender Vibra-

tionsplatte oder Krafttraining auf einer Pseudo-Vibrationsplatte. Die Untersuchung dauerte 6 Wochen. Hebende Vibrationen einer Amplitude von 2 mm und einer Frequenz von 35-40 Hertz wurden 3 x wöchentlich 6 mal 30 Sekunden bis 8 mal 30-45 Sekunden lang angewendet. Die Übungen beinhalteten Ausfallschritt, unterschiedliche Kniebeugen und Zehenstand.

Als Ergebnisparameter dienten die Greifkraft der dominanten Hand, der Timed Up-And-Go-Test (TUG) und der Tinetti- Test als Maß für das Gehen und das Gleichgewicht. Die Beweglichkeit der oberen Extremität wurde mit dem "Back Scratch" und die gemeinsame Flexibilität von Wirbelsäule und unterer Extremität mit dem "Chair sit -and- reach" Test beurteilt. Die Kraft der bilateralen Beinstreckung in geschlossener Bewegungskette wurde mit einem isokinetischen Dynamometer gemessen .

Lediglich der Tinetti Balance Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Der Balance-Score nahm in der Interventionsgruppe um 0,5 Punkte zu, verringerte sich jedoch in der Kontrollgruppe um 2,4 Punkte. Alle anderen Parameter (Tinetti Gesamtscore, Tinetti- Gehprobe, TUG, Muskelkraft, Leistung, Schnellkraft) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Bruyere und Mitarbeiter (24) berichten eine randomisierte kontrollierte Studie, die mit 42 Bewohnern (Alter: $81,9 \pm 6,9$ Jahre) eines Pflegeheims durchgeführt wurde. Dabei wurden 6 Wochen lang kippende Ganzkörpervibration plus konventionelle Bewegungstherapie oder ausschließlich konventionelle Bewegungstherapie angewendet. Die Vibrationsreize wurden 3 mal wöchentlich, 4 mal 60 Sekunden mit einer Pause von 90 Sekunden appliziert, wobei in der 1. und 3. Serie mit 10 Hz und einer Amplitude von 3mm behandelt wurde. In der 2. und 4. Serie betrug die Frequenz 26 Hz bei einer Amplitude von 7 mm. Als Ergebnisparameter wurden der Tinetti Test (Gesamtscore, Gehprobe, Balance), TUG und als Maß für die Gesindheits bezogen Lebensqualität der SF-36 eingesetzt.

Die Interventionsgruppe zeigte im Vergleich zu Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen im Tinetti Test (Gesamtscore, Gehprobe, Balance), im TUG und im 8 von 9 Items des SF-36. Die genaueren Ergebnisse sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Im Vergleich von GKV plus Bewegungsübungen gegen konventionelles Krafttraining oder unbehandelte Kontrollen (22) fand sich bei postmenopausalen Frauen im Alter zwischen 58 und 74 Jahren nach 24 Wochen

Tabelle 1
Verbesserung nach GKV plus Bewegungsübungen (BU) vs ausschließlich Bewegungsübungen (nach 24)

	Interventionsgruppe (GKV + BU)	Kontrollgruppe (nur BU)
Tinetti Gehprobe (Optimum 12 Punkte)	2,4±2,3 Punkte (+57%)	0 Punkte
Tinetti Balanceprobe (Optimum 16 Punkte)	3,5±2,1 Punkte (+77%)	-0,3±1,2 Punkte (-1%)
Tinetti Gesamt (Optimum 28 Punkte)	5,6 ± 3,7 Punkte	0,3 ± 1,3 Punkte
Timed-Up-And-Go (TUG)*	-11,0±8,6 Sekunden (-39%)	2,6±8,8Sekunden (+14%)

kein signifikanter Unterschied hinsichtlich Maximalkraft der Kniestreckmuskulatur, Geschwindigkeit der Kniestreckung und Höhe beim vertikalen Sprung. Hinsichtlich Maximalkraft und Sprunghöhe waren beide Trainingsgruppe signifikant unterschiedlich zu den Ergebnissen der Kontrollgruppe.

Eine spanische Untersuchung (23) verglich kippende GKV gegen Gehtraining (Walking) hinsichtlich Veränderung des Gleichgewichts ("blinder Flamingo") und DXA bestimmten Knochendichte an der Lendenwirbelsäule und am proximalen Femur. Jeweils 14 untrainierte postmenopausale Frauen mit einem Durchschnittsalter von 66 Jahren wurden randomisiert der GKV oder dem Gehtraining zugeteilt. Das Vibrationstraining wurde 3 mal Woche bei einer Frequenz von 12,6Hz 3-6 Sets einer Dauer von 60 Sekunden, mit Pausen von 1 Minute zwischen den Sets und einem leichten 10 Minuten dauernden Aufwärmen vor dem Vibrationstraining Das Gehtraining wurde 1 Stunde lang im freien Gelände, 2 mal pro Woche durchgeführt. Nach 8 Monate dauernder Therapie fand sich die Knochendichte am Femur in der GKV-Gruppe im signifikantem Unterschied zum Gehtraining um 4,3 % erhöht und das Gleichgewicht im 29% verbessert.

In Japan wurde im März dieses Jahres eine Studie publiziert (19), welche die Effekte einer kippendem GKV plus Standard-Bewegungsübungen gegen Standardbewegungsübungen bei Senioren im Alter zwischen 59 und 86 Jahren verglichen hat. Die Schrittlänge, die Gehzeit für eine Strecke von 10 Metern, Dauer des Einbeinstandes auf dem rechten und dem linken Bein dienten als Ergebnisparameter. 40 Personen erhielten eine GKV einer Frequenz von 12-20 Hz, 4 Minuten lang, einmal pro Woche, insgesamt 2 Monate lang. Alle Personen der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe führten Standard-Bewegungsübungen zur Muskelkräftigung und Förderung des Gleichgewichts durch und absolvierten 2 mal pro Woche ein Gehtraining von 30 Minuten Dauer. Obwohl es in der Vibrationsgruppe zu einer signifikanten Verbesserung der Zeir für 10m Gehstrecke, Dauer des Einbeinstandes und der Schrittlänge gekommen war, fand sich kein

signifikanter Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe.

Auf der Homepage von der Zeitschrift Gait& Posture findet sich eine Studie, die nur als elektronische Version, jedoch noch nicht als gedruckte Fassung vorliegt, welche die Effekte der GKV mit der Wirksamkeit eines Fitnessstraining und unbehandelten Kontrollpersonen vergleicht (81). Eingeschlossen wurden 220 gesunde Personen im Alter zwischen 60 und 80 Jahren, 94 Personen wurden dem Vibrationstraining zugeteilt und 61 davon, 29 Männer und 32 Frauen, führten dieses Training 12 Monate lang, 3 mal Woche durch. Das Fitnessstraining wurde von 60 Personen begonnen und von 39 Personen (17 Männer, 22 Frauen) nach 1 Jahr beendet. Die Kontrollgruppe bestand aus 61 Personen (29 Männer, 32 Frauen). Als Ergebnisparameter wurden nach 6 und 12 Monaten Gleichgewichtstests mittels dynamischer Posturographie verwendet.

Die GKV-Gruppe übte auf dem Vibrationsgerät mit zunehmender Intensität bei Vibrationsfrequenzen zwischen 30 bis 40 Hz und Amplituden zwischen 2,5 und 5 mm. Die maximale Dauer einer Trainingssitzung betrug einschließlich Aufwärmen und Abkühlen 40 Minuten. Das Fitnessstraining setzte sich aus Ausdauertraining (bei 70-85% der maximalen Herzfrequenz), Krafttraining und Gleichgewichtsübungen zusammen und dauerte pro Sitzung 90 Minuten. Die Personen der Kontrollgruppe sollten ihren Lebensstil beibehalten und keinerlei zusätzliche körperliche Aktivitäten beginnen.

Es konnte in beiden Trainingsgruppen einer Verbesserung mancher Gleichgewichtsparameter der dynamischen Posturographie erzielt werden, insgesamt war aber der Beitrag des Trainings zu einer besseren Balance gering. Die Autoren argumentieren, dass das Gleichgewicht der Studienteilnehmer bereits vor dem Training überdurchschnittlich ausgeprägt war und eine deutliche Verbesserung möglicherweise deswegen nicht erzielbar war.

Schließlich wurde auch der Einfluss einer GKV auf Gleichgewicht und Aktivitäten des täglichen Lebens (ATL) bei Patienten nach Schlaganfall untersucht (20).

53 Patienten wurden 6 Wochen nach dem Insult, innerhalb von 3 Tagen nach Aufnahme ins Reha-Zentrum entweder der Interventionsgruppe (4x45 Sekunden kippende GKV 30 Hz, 3 mm Amplitude, 5x wöchentlich durch 6 Wochen) oder der Kontrollgruppe: (Übungstherapie mit Musik gleicher Dauer) randomisiert zugeteilt. Als Ergebnisparameter wurden die Berg Balance Scale, Trunk Control Test, Rivermead Mobility Index, Barthel, Functional Ambulation Categories, Motricity Index und die somatosensorische Schwelle vor, nach 6 und 12 Wochen Therapie erhoben. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der GKV und der als Pseudo-Therapie verstandenen und auch so eingesetzten Kontrollbehandlung.

Diskussion

Eine Einschätzung der Wirksamkeit der GKV ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt schwierig. Vielversprechende theoretische Grundlage speziell bei der Förderung der Knochenfestigkeit durch Vibrationsreize, werden vorerst noch nicht ausreichend durch klinische Daten unterstützt. Die günstigsten Ergebnisse scheint es bei jungen Patienten mit geringer Knochenmasse zu geben (26,77), bei gesunden jungen Erwachsenen (17) scheint der Knochen durch die Vibrationsbehandlung nicht verändert zu werden

Zumindest beim Vergleich mit nicht Behandelten scheint eine positive Beeinflussung des Gleichgewichts bei rüstigen älteren Personen wahrscheinlich. Für Patienten nach Schlaganfall dürfte sich der Effekt einer GKV-Therapie nicht von einer Placebobehandlung unterscheiden (20). Die Zahl von Stürzen als mögliches Ergebnis eines Balancetests hat sich nach GKV in zwei Studien (19, 80) in zwei Studien als vermindert gezeigt. Ebenso wurde eine Verbesserung von Risikofaktoren für Stürze nachgewiesen (15, 18, 24). Auch eine moderate Muskelkräftigung bei älteren Personen ist durch Ganzkörpervibration wahrscheinlich. Ein Beweis, dass die GKV tatsächlich die Häufigkeit von Stürzen im Alltag von Patienten vermindert, steht jedoch noch aus.

Darüberhinaus ergeben sich für die Praxis eine Reihe offener Fragen wie Qualitätsstandards (ärztliche, therapeutische, Geräte technische) bewiesenen Indikationen, das Monitoring unerwünschter Wirkungen, Kostenübernahme durch Krankenkassen (in Deutschland: für die Osteogenesis imperfecta gegeben) Anbieter (Medizin und/oder Wellness) und damit sachgerechte Information auf Webseiten, Foldern und Medien.

Literatur

1.Griffin MJ. Handbook of human vibration. London, San Diego, Academic Press, 1990

2.Lings S, Leboeuf-Yde C Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *Int Arch Occup Environ Health* 2000, 73: 290-297

3.Tiemessen IJ, Hulshof CTJ, Frings-Dresen MHW. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37 (2007) 245-256

4.Rehn B, Lidström J, Skoglund J, Lindström B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2007, 17 (1), 2-11

5.Nordlund MM, Thorstensson A. Strength training effects of whole-body vibration? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2007; 17 (1), 12-17.

6.Landesamt für Arbeitsschutz Potsdam (LAS), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz St. Augustin (BGIA), SG „Vibration“ im Fachausschuss „Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau“ der BGZ beim Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Handbuch zum Thema Ganzkörper-Vibration- Rechtlich nicht bindendes Handbuch im Hinblick auf die Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen).www. bba. Osha.de/docs/ EU_GKS-Handbuch_2007_04_11_dt_neu.pdf

7.Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise; are vibrations good for you ? *Br J Sports Med* 2005, 39: 585-58

8.Flieger J, Karachalios T., Khaldi L., Raptou P. Lyritis G. Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int*, 1998, 63, 510-514.

9..Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K. Prevention of Postmenopausal Bone Loss by a Low-Magnitude, High-Frequency Mechanical Stimuli: A Clinical Trial Assessing Compliance, Efficacy, and Safety. *J Bone Miner Res* 2004;19:343-351.

10.Rubin C, Xu G, Judex S The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J* 2001; 15: 2225-2229.

11.Rubin C., Turner AS, Mallinckrodt C, Jerome C., McLeod K, Bain S. Mechanical Strain, Induced Noninvasively in the High-frequency Domain, Is Anabolic to Cancellous Bone, But Not Cortical Bone. *Bone* 2002., 30 (3):445-452

12.Rubin C, Turner AS., Muller R, Mittra E, Lin W, McLeod K., Qin Y.-X. Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, non-invasive mechanical intervention. *J Bone Miner Res.* 2002; 17: 349,357

13.Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M- Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate. *Aging Clin Exp Res.* 2005;17(2):157-63

14.Verschueren SMP, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S,Vanderschueren D, Boonen S.Effect of 6-Month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study. *J Bone Miner Res* 2004;19:352-359.

15.Runge M, Rehfeld G, Resnick E. Balance training and exercise in geriatric patients *J Musculoskel Neuron Interact* 2000; 1:61-65

16. Torvinen S; Kannus P; Sievanen H; Jarvinen TAH; Pasanen M; Kontulainen S; Jarvinen TLN; Jarvinen M; Oja P; Vuori I. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance *Med Sci Sports Exercise* 2002; 15:23-28
17. Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen TAH, Pasanen M, Kontulainen S, Nenonen A, Järvinen TLN, Paakkala T, Järvinen M, Vuori I Effect of 8-Month Vertical Whole Body Vibration on Bone, Muscle Performance, and Body Balance: A Randomized Controlled Study. *J Bone Miner Res* 2003; 18(5) 876-84
18. Bautmans I, Van Hees E, Lemper J-C, Mets T. The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial [ISRCTN62535013]. *BMC Geriatr.* 2005; 5: 1
19. Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J. Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med*, 2007, 56, 28-33
20. van Nes IJW; Latour H; Schils F, Meijer R; van Kuijk A, Geurts ACH. Long-Term Effects of 6-Weeks Whole-Body Vibration on Balance Recovery and Activities of Daily Living in the Postacute Phase of Stroke. A Randomized, Controlled Trial. *Stroke* 2006;37:2331
21. Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, Ferrucci L. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84:1854-1857
22. Roelants M; Delecluse C; Verschuere SM. Whole-Body Vibration Training Increases Knee-Extension Strength and Speed of Movement in Older Women. *Journal of the American Geriatrics Society.* 2004; .52(6):901-908.
23. Gusi N, Raimundo A, Leal A. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2006, 7:92
24. Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, Reginster JY. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86(2): 303-7.
25. Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, Felsenberg D Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. *Spine.* 2002; 27(17) :1829-34
26. Ward K, Alsop C, Caulton J, Rubin C, Adams J, Mughal Z. Low magnitude mechanical loading is osteogenic in children with disabling conditions. *J Bone Miner Res* 2004; 19:360-369.
27. Jong, JH de; Kampen, M van; Biemans GJM. The Effect Of Whole Body Vibration Training On Women With Stress Urinary Incontinence. *Int Urogynecol J*, 2006, 17 (Suppl. 2):S182
28. von der Heide S, Emons G, Hilgers R, Viereck V. Effect On Muscles of Mechanical Vibrations Produced By The Galileo 2000 In Combination With Physical Therapy In Treating Female Stress Urinary Incontinence. In: Abstractband, Kongress der Deutschen Inkontinenzgesellschaft 2005
29. Turbanski S, Haas CT, Schmidtbleicher D, Friedrich A, Duisberg P. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Res Sports Med.* 2005; 13(3): 243-56.
30. Haas CT, Buhlmann A, Turbanski S, Schmidtbleicher D. Proprioceptive and sensorimotor performance in Parkinson's disease. *Res Sports Med.* 2006; 14(4):273-87.
31. Haas CT, Turbanski S, Kessler K, Schmidtbleicher D. The effects of random whole-body-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation.* 2006;21(1):29-36
32. Schuhfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, Paterostro-Sluga T. Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clin Rehabil.* 2005; 19(8): 834-42.
33. Taylor W. Vibration white finger: a newly prescribed disease. *Br Med J* 1985; 291(6500): 921-922.
34. Palmer KT, Griffin MJ, Syddall H, Pannett B, Cooper C, Coggon D Risk of Hand-Arm Vibration Syndrome According to Occupation and Sources of Exposure to Hand-Transmitted Vibration: A National Survey. *Am. J. Ind. Med.* 2001; .39: 389±396,
35. Lundborg G, Rosen B, Knutsson L, Holtas S, Stahlberg F, Larsson EM. Hand-Arm-Vibration Syndrome (HAVS): Is There A Central Nervous Component? An fMRI Study. *J Hand Surg* 2002; 27B: 6: 514-519
36. Hagberg M. Clinical assessment of musculoskeletal disorders in workers exposed to hand-arm vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 2002;75(1-2):97-105
37. Sutinen P, Toppila E, Starck J, Brammer A, Zou J, Pyykko I. Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *Int Arch Occup Environ Health*, 2006, 79: 665-671
38. Wilder, D.G., Pope, M.H., "Epidemiological and Etiological Aspects of Low Back Pain in Vibration Environments - An Update," *Clinical Biomechanics*, 1990, 11 (2) :61-73
39. Battié M., Videman T, Gibbons L., Manninen H, Gill K, Pope M, Kaprio J. Occupational driving and lumbar disc degeneration: a casecontrol study. *Lancet*, 2002, 360 (9343): 1369- 1374
40. Miyamoto M, Shirai Y, Nakayama Y, Gembun, Kaneda K. An Epidemiologic Study of Occupational Low Back Pain in Truck Drivers. *J Nippon Med Sch* 2000; 67 (3): 186-190
41. Walker-Bone K, Palmer KT. Musculoskeletal disorders in farmers and farm workers. *Occupational Medicine* 2002, 52(8) 441-450.
42. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology* 2000, 20, 2, 134-142
43. Crevenna R, Fialka-Moser V, Rödler S, Keilani M, Zöch C, Nuhr M, Quittan M, Wolzt M. Safety of Whole-Body Vibration Exercise for Heart Transplant Recipients. *Phys Rehab Kur Med* 2003; 13: 286-290
44. Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C., Resch H., Preisinger E., Fialka-Moser V., Imhof H. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume *Clinical Physiology* 2001; 21 (3), 377-382
45. Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K. Prevention of Postmenopausal Bone Loss by a Low-Magnitude, High-Frequency Mechanical Stimuli: A Clinical Trial Assessing Compliance, Efficacy, and Safety. *J Bone Miner Res* 2004;19:343-351.
46. Rohrer H. Permanente rhythmische Mikrobewegungen des Warmblüter-Organismus (Mikrovibration). *Naturwissenschaften* 1962; 49:145-150
47. Gallasch E, Kenner T. Characterisation of arm microvibration recorded on an accelerometer. *Eur J Appl Physiol* 1997, 75: 226-232
48. Nazarov V, Spivak G. Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory and Practice of Physical Culture (Moscow)* 1985; 12: 445- 450.

49. Lazik D, Bauer W, Luther S, Kittel R, Badtke G. Biomechanische Muskelstimulation der ischiocruralen Muskulatur im Fußballsport. (abstract). *Dtsche Zeitschr Sportmed* 2005, 58(7/8):252
50. Toscani V, Buniak Davis V, E. Stevens E, Whedon GD, Deitrick JE, Shorr E. Modification of the effects of immobilisation upon metabolic and physiological functions of the normal men by the use of oscillating bed. *Am J Med* 1949; 6:684-710.
51. Haas CT, Turbanski S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2004; 55(2) 34-43
52. Mahieu NN; Witvrouw E; Van de Voorde D; Michilsens D; Arbyn V; Van den Broecke W. Improving Strength and Postural Control in Young Skiers: Whole-Body Vibration Versus Equivalent Resistance Training. *J Athletic Training* 2006; 41(3) 286-293
53. Cardinale M, Lim J. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res.* 2003; 17(3):621-4
54. Rubin C; Pope M, Fritton CJ; Magnusson M; Hansson T; McLeod K. Transmissibility of 15-Hertz to 35-Hertz Vibrations to the Human Hip and Lumbar Spine: Determining the Physiologic Feasibility of Delivering Low-Level Anabolic Mechanical Stimuli to Skeletal Regions at Greatest Risk of Fracture Because of Osteoporosis. *Spine.* 2003.28(23):2621-2627.
55. Oxlund BS, Ørtoft G., Andreassen TT., Oxlund H. Low-intensity, high-frequency vibration appears to prevent the decrease in strength of the femur and tibia associated with ovariectomy of adult rats. *Bone* 32 2003, 69-77
56. Tanaka SM, Li J, Duncan RL, Yokota H, Burr DB, Turner CH. Effects of broad frequency vibration on cultured osteoblasts. *J Biomechanics* 36, 2003, 73-80
57. Kaspar D, Seidl W, Neidlinger-Wilke C, Ignatius A, Claes L. Dynamic cell stretching increases human osteoblast proliferation and CICP synthesis but decreases osteocalcin synthesis and alkaline phosphatase activity. *J Biomechanics* 2000; 33: 45-51
58. Wozniak M, Fausto A, Carron CP, Meyer DM, Hruska KA. Mechanically Strained Cells of the Osteoblast Lineage Organize Their Extracellular Matrix Through Unique Sites of $\alpha_v\beta_3$ -Integrin Expression. *J Bone Miner Res* 2000; 15: 1731-1745
59. Yellowley CF, Li Z, Zhou Z, Jacob CR, Donahue HJ. Functional Gap Junctions Between Osteocytic and Osteoblastic Cells. *J Bone Miner Res* 2000; 15: 209-217
60. Duncan RL, Turner CH. Mechanotransduction and the Functional Response of Bone to Mechanical Strain. *Calcif Tissue Int* 1995; 57:344-358
61. Frost HM. The Utah paradigm of skeletal physiology: an overview of its insights for bone, cartilage and collagenous tissue organs. *J Bone Miner Metab.* 2000;18(6):305-16.
62. Frost HM. Perspectives: A Proposed General Mode of the "Mechanostat" *Anatom Rec* 1996, 244: 139-147
63. Frost HM, Ferretti JL, Jee WSS. Perspectives: Some Roles of Mechanical Usage, Muscle Strength, and the Mechanostat in Skeletal Physiology, Disease and Research. *Calcif Tissue Int*, 1998, 62:1-7
64. Frost HM. Bone's Mechanostat: A 2003 Update. *Anatom Rec* 2003, 275A: 1081-1101
65. Turner CH, Yoshikawa T, Forwood MR, Sunt TC, Burr DB. High Frequency Components Of Bone Strain In Dogs Measured During Various Activities. *J. Biomechanics* 1995, 28(1) 39-44.
66. Fritton SP, McLeod KJ, Rubin CT. Quantifying the strain history of bone: spatial uniformity and self-similarity of low-magnitude strain. *J Biomechanics* 2000, 33, 317-325
67. Ehrlich PJ, Lanyon LE. Mechanical Strain and Bone Cell Function: A Review. *Osteoporos Int* 2002, 13:688-700
68. Convertino VA, Bloomfield SA, Greenleaf JE. An overview of the issues: physiological effects of bed rest and restricted physical activity, *Med Sci Sports Exerc.* 1997; 29(2):187-90
69. LeBlanc AD, Spector ER, Evans HJ, Sibonga JD. Skeletal responses to space flight and the bed rest analog: A review. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2007; 7(1):33-47
70. Rittweger J and Felsenberg D. Resistive vibration exercise prevents bone loss during 8 weeks of strict bed rest in healthy male subjects: results from the Berlin Bed Rest (BBR) study. 26th Annual Meeting of the American Society for Bone and Mineral Research; October 1-5, 2004; Seattle, WA; Presentation 1145.
71. Bleeker MWP, De Groot PCE, Rongen GA, Rittweger J, Felsenberg D, Smits P, Hopman MTE. Vascular adaptation to deconditioning and the effect of an exercise countermeasure: results of the Berlin Bed Rest study. *J Appl Physiol.* 2005; 99(4):1293-300
72. Blottner D, Salanova M, Puttmann B, Schiffl G, Felsenberg D, Buehring B, Rittweger J. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 97(3):261-71
73. Belavy DL, Richardson CA, Wilson SJ, Felsenberg D, Rittweger J. Tonic to phasic shift of lumbo-pelvic muscle activity during 8-weeks of bed-rest and 6-months follow-up. *J Appl Physiol.* 2007 Feb 15; [Epub ahead of print]
74. Mulder ER, Stegeman DF, Gerrits KH, Paalman MI, Rittweger J, Felsenberg D, de Haan A. Strength, size and activation of knee extensors followed during 8 weeks of horizontal bed rest and the influence of a countermeasure. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 97(6):706-15.
75. Belavy DL, Richardson CA, Wilson SJ, Rittweger J, Felsenberg D. Superficial Lumbopelvic Muscle Overactivity and Decreased Cocontraction After 8 Weeks of Bed Rest- *Spine.* 32(1):E23-E29, 2007.
76. Beck BT, Kent K, Holloway L, Marcus R. Novel, high-frequency, low-strain mechanical loading for premenopausal women with low bone mass: early findings. *J Bone Miner Metab* 2006, 24: 505-507
77. Gilsanz V, Wren TAL, Sanchez M, Dorey F, Judex S, Rubin C. Low-Level, High-Frequency Mechanical Signals Enhance Musculoskeletal Development of Young Women With Low BMD. *J Bone Miner Res* 2006, 21:9, 1464-1474
78. Torvinen S, Sievänen H, Järvinen TAH, Pasanen M, Kontulainen S, Kannus P. Effect of 4-min Vertical Whole Body Vibration on Muscle Performance and Body balance: A Randomized Cross-over-study. *Int j Sports Med* 2002, 23:374-379
79. Torvinen S, Kannus P., Sievänen H, Järvinen TAH, Pasanen M, Kontulainen S, Järvinen TLN, Järvinen M., Oja P, Vuori I. Effect of vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol & Func Im* 2002, 22: 145-152
80. Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S. Effects of whole body vibration training on postural control on older individuals: A 1 year randomized controlled trial, *Gait Posture* 2006, doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.09.078