

2. Einleitung

2.1. Wirkungen und mögliche Wirkmechanismen des Vibrationstrainings

Die Literatur zum Themenfeld „Ganzkörpervibration“ ist in den letzten Jahren rapide angewachsen. Eine Medline Anfrage mit den Begriffen „Vibrationstraining“ und „Osteoporosis“ erbringt allein für die Jahre seit 2000 mehr als 100 Studien. Daher wird im Folgenden versucht, auf der Basis von vorliegenden Überblickdarstellungen den aktuellen Kenntnisstand und Forschungsdefizite komprimiert zu skizzieren. Dabei soll zunächst grundsätzlich differenziert werden zwischen unmittelbaren akuten Effekten und mittelbaren Dauereffekten. Auch werden nur Untersuchungen betrachtet, welche einen Bezug zur intendierten Interventionswirkung (Verbesserung der Sprungleistung, Hypertrophieeffekte) aufweisen und somit der theoriegeleiteten Hypothesenbildung dienen.

2.1.1. Akute kurzfristige Effekte

Betrachtet man bisherige Forschungsergebnisse zu den akuten kurzfristigen Effekten des Vibrationstrainings, so lassen sich zahlreiche Arbeiten finden, welche die unmittelbaren Wirkungen des Vibrationstrainings empirisch bestätigen. So wird einerseits in Studien von Bosco [1999(a)], Issurin [1999] und Cochrane [2005] von Kraftsteigerungen von 5 - 10 % bei Traininginterventionen mit 26 Hz berichtet. Bei Leistungsboxern konnte in einer Untersuchung von Bosco [1999(b)] eine 8-prozentige Erhöhung der realisierten Kraft, nach einem Training mit fünf Serien mit einminütiger Vibrationseinwirkung von 30 Hz auf den Arm, nachgewiesen werden. Auch Kaji [2002] und Nishihira [2002] berichten von einer spontanen Zunahme der Maximal- und Schnellkraft nach Vibrationstraining. Insbesondere konnten mehrere Studien u.a. von Bosco [2000], Cardinale [2003] und Delecluse [2003] ad-hoc-Effekte auf die Sprungleistung nachweisen. So konnten Verbesserungen der Sprungleistungen in Höhe von 4 -10 % gezeigt werden. Andere Studien kamen kontrastierend zu den positiven ad-hoc-Effekten zu divergenten Resultaten.

Samuelson et al. [1989] und Jordan et al. [2003] konnten bei Vibrationen mit 20 Hz bzw. 30 Hz keine spontane Verbesserung in der isometrischen Maximalkraft der Beinextensoren nachweisen. Jordan et al. [2003] zeigte sogar eine gesteigerte Inhibition nach einem Training mit drei Serien von einer Minute Belastungsdauer je Serie.

Ruiter et al. [2003] postulieren eine reduzierte Maximalkraft 90 Sekunden nach einer Vibrationsbehandlung. Rittweger et al. [2000] berichtet von reduzierten Sprungleistungen nach erschöpfenden Ganzkörpervibrationen.

Mit den akuten hormonellen Effekten des Vibrationstrainings setzte sich Bosco et al. [2000] auseinander. Er berichtet von einer 460 prozentigen Erhöhung des Wachstumshormonspiegels (HGH) nach einer Trainingsintervention von zehnmal einer Minute Vibration. Da die der Arbeit zugrunde liegende Untersuchung sich mit den langfristigen Effekten von Vibrationstraining beschäftigt, soll dieser kurze Ausblick auf akute Effekte an dieser Stelle genügen.

2.1.2. Langfristige Effekte

Durch die serielle Kumulation der akuten Effekte werden langfristig strukturelle Adaptionen induziert. Hier ist der empirische Bestätigungsgrad der Wirkung von Vibrationstraining geringer, als bei dem Nachweis akuter Effekte. So ist die Studienlage sehr indifferent. Unterschiedliche Untersuchungen zum Vibrationstraining zeigen bis jetzt sehr heterogene Befunde. Grundtenor bei Literaturanalysen ist, dass gute Trainingseffekte bei tendenziell Untrainierten mit einem ausschließlich durchgeführten Vibrationstraining möglich sind. Bosco et al. [1998] konnten z.B. eine signifikant Verbesserung der Sprungkraft nach 10 Vibrationstrainingseinheiten feststellen. Um Vergleichsgrößen der Effekte des Vibrationstrainings herzustellen, wurden häufig Vergleichsstudien mit herkömmlichem Krafttraining durchgeführt. Es zeigen sich zwei gegenläufige Tendenzen: So wurde u. a. bei Untersuchungen von Issurin [1994] eine deutlich höhere Steigerungsrate der Maximalkraft beim Vibrationstraining erzielt, als beim „herkömmlichen“ Training. Untersuchungen von u. a. Schlumberger [2001] zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen Vibrationstraining und herkömmlichem Training.

Untersuchungen von Bosco [1999] haben zeigen können, dass Vibrationstraining höhere Zuwachsraten bringt als herkömmliches Training. Scherzer [2002] führte ebenfalls zum Thema „Vergleich eines Konventionellen Krafttrainings mit einem Vibrationstraining“ eine Studie durch. Er verwendete die Power Plate. Bezüglich der Maximalkraft ergab sich auch hier eine signifikante Steigerung beider Trainingsgruppen, ein Unterschied zwischen den Gruppen konnte in dieser Untersuchung nicht gezeigt werden.

In einer Arbeit von Ramolla [2004] wurde ebenfalls ein Vergleich von konventionellem und vibrationsgestütztem Krafttraining bei jungen, gesunden Probanden durchgeführt. Es wurde eine 5-monatige Trainingsepisode begleitet. Die Probanden beider Trainingsgruppen führten ein gezieltes Krafttraining der Beinmuskulatur durch. Trainiert wurde jeweils zweimal pro Woche.

Nach den vorliegenden Daten war ein Krafttraining mit dem Vibrationsgerät der Firma Galileo sinnvoll, jedoch war es dem herkömmlichen Krafttraining in Bezug auf die Maximalkraft nicht überlegen. Liegt der Schwerpunkt des Krafttrainings im Schnellkraftbereich bzw. ist das Ziel eine Steigerung der Explosivkraft, haben die vorliegenden Daten an eine Überlegenheit der Vibrationsmethode denken lassen.

In verschiedenen Studien u. a. von Bosco [1999] wurde eine deutliche Steigerung der neuronalen Aktivität (EMG) im Vergleich Vibrationstraining und herkömmliches Training festgestellt, was auch im Bereich Schnellkraftentwicklung, so Bosco, eine mit entscheidende Rolle spielt.

Entgegen zu den oben beschriebenen Untersuchungen finden sich mehrere Studien, welche nach mehrwöchigem Ganzkörpervibrationstraining keine Leistungsverbesserung nachwiesen. So postuliert Torvinen et al. [2003], dass es zu keiner Verbesserung der Muskelleistung nach viermonatigem Vibrationstraining kam. Künnemeyer et al. [1997] stellte keine Verbesserung der Leistung in verschiedenen Sprungtests sowie der isometrischen Maximalkraft nach 8-wöchigen Vibrationstraining fest. Auch Ruitter et al. [2003] konnte nach zweiwöchiger Vibrationsbehandlung mit 30 Hz und 8 mm Amplitude keine Verbesserung der Maximalkraft feststellen.

Die sehr indifferente Studienlage und die gegenläufigen Tendenzen bei den Effektstärken lassen die Vermutung zu, dass die in Untersuchungen festgestellten Wirkungen der Muskelstimulation durch Vibrationstraining einerseits stark abhängig sind von der Art der Vibration (Platte oder Wippe). Die in Studien festgestellten Interventionswirkungen sind andererseits nur valide für die benutzten Frequenzen und die Höhe der jeweiligen Krafteinleitung. So lässt sich der in Studien festgestellte Effekt eines Vibrationstrainingsgerätes nicht auf ein Gerät mit einem anderen Wirkprinzip übertragen. Dies unterstreicht die Forderung nach experimentellen oder quasiexperimentellen komparativen Studien, welche die verschiedenen Wirkprinzipien (Wippe oder Platte) und Belastungsnormative unter validen und reliablen Bedingungen miteinander hinsichtlich der intendierten Effektstärken vergleichen.

2.1.3. Wirkmechanismen des Vibrationstrainings

Zentraler Auslösemechanismus der Wirkungen der Ganzkörpervibration ist der sogenannte „tonic vibration reflex“ (TVR). Durch die Vibrationen werden über das Golgi-Sehnenorgan und die Muskelspindel Rückenmarksreflexe ausgelöst. Diese führen zu einer erhöhter Rekrutierung und Aktivierung oder Hemmung motorischer Einheiten. „Muskelspindeln spielen eine zentrale Rolle für die muskuläre Absicherung der aufrechten Haltung. In der Regel trachtet der Körper danach, die Haltung möglichst konstant zu halten. Intermetierende hochfrequente Störungen, wie sie das Vibrationstraining darstellt, lösen muskuläre Aktivitäten und nachfolgende Anpassungserscheinungen aus. [...] Das Ziel besteht nun darin, die Schwingungen zu dämpfen und auszugleichen und dadurch die Konstanz der aufrechten Körperhaltung zu erhalten.“

So Huber [2006]. Die unwillkürlich ausgelösten reflektorischen Muskelstimulationen führen, so berichtet Runge [2006], zu schnelleren und präziseren Muskelbewegungen als willentliche Aktionen (Abb.1).

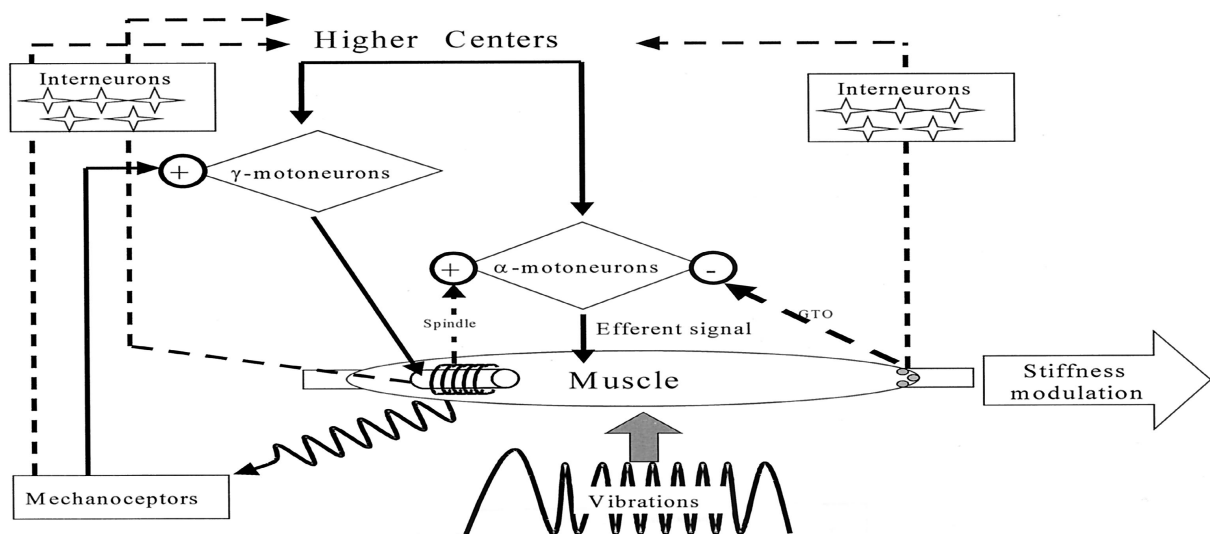


Abb.1 Prinzip der Stiffnessregulation während Vibrationsstimulation

2.2. Wissenschaftliche Grundlagen im Bereich der Muskelphysiologie, Trainingswissenschaftliche Grundlagen

2.2.1. Aufbau und Wirkungsweise der Muskulatur

Aus anatomischen Gesichtspunkten heraus wird die Muskulatur in quergestreifte Skelettmuskulatur und glatte Muskulatur, welche die inneren Organe auskleidet, eingeteilt. Die Muskulatur des Herzens, die ebenfalls eine anatomische Querstreifung aufweist, nimmt eine Sonderstellung ein. Der Muskelbauch der Skelettmuskulatur selbst besteht aus zahlreichen Muskelfasern, die sich wiederum in einzelne Muskelfibrillen (Myofibrillen) unterteilen lassen. Die Myofibrillen können die im ATP gespeicherte chemische Energie in mechanische Energie umwandeln.

In der isolierten Darstellung einer Myofibrille erkennt man deutlich helle senkrechte Streifen, die sogenannten Z-Streifen. Der Bereich zwischen zwei Z-Streifen wird Sarkomer genannt und ist die kleinste funktionelle Einheit eines Muskels. Im Sarkomer findet die eigentliche Muskelkontraktion statt. In ihm befinden sich das dünnere Aktinfilament und das dickere Myosinfilament (Abb.2).

Hierbei handelt es sich um die eigentlichen kontraktilen Proteine. Ein funktionsfähiges Aktinfilament besteht aus kugelförmigen Eiweißmolekülen (F-Aktin), die in einer Doppelspirale angeordnet sind, in deren Längsrillen die Tropomyosinfäden verlaufen, die wiederum durch Troponinmolekül-Komplexe miteinander verbunden sind.

Das Myosinfilament besteht aus dem Myosinschaft, Myosinhals und dem beweglichen Myosinkopf. Der Myosinschaft besteht aus spiralig umeinander gewundenen Peptidketten. Sie liegen parallel und bilden das Rückgrat des Myosinfilaments. Die Myosinmoleküle haben die Neigung, sich längs so aneinander zu lagern, dass die Köpfchen in regelmäßigem Abstand seitlich aus dem Myosinfilament herausragen [Badtke 1995]. Beide Myofilamente greifen während der Muskelkontraktion ineinander. Erfolgt eine elektrische Erregung an der Muskelzelle, wird eine elektromechanische Kopplung in Gang gesetzt. Ca^+ Ionen aus intrazellulären Speichern werden freigesetzt und binden an das sogenannte Regulatorprotein, das Troponin. Durch eine folgende Verlagerung des Tropomyosinmoleküls werden Bindungsstellen am Aktinfilament für das Myosinfilament frei. Beide Filamente können, unter ATP Verbrauch, ineinander gleiten und den Muskel so verkürzen [Badtke 1995].

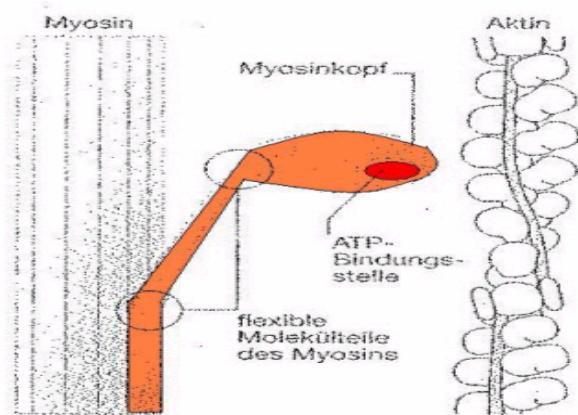


Abb.2 Aufbau der Myofilamente Aktin und Myosin

Die Skelettmuskelfasern können bezüglich struktureller und funktioneller Merkmale in langsam kontrahierende Fasern (ST = slow twitch) und in schnell kontrahierende Fasern (FT = fast twitch) differenziert werden. Die langsam kontrahierenden Fasern sind für den aeroben Stoffwechsel ausgelegt. Dadurch sind sie sehr ermüdungsresistent. Die schnell kontrahierenden Muskelfasern sind entweder glykolytisch (FTG) oder stärker oxidativ (FTO) ausgelegt. Fasern des Typs (FTG) sind im Gegensatz zu Fasern des Typs (FTO) sehr schnell ermüdbar [Schnabel/ Harre/ Borde, 1997].

2.2.2. Neurophysiologische Grundlagen der Muskelkontraktion

Die Skelettmuskulatur wird durch Motoneurone innerviert, deren Zellkörper in der Wirbelsäule liegen. Das motorische Axon verläßt die Wirbelsäule ventral und erreicht den Muskel über einen Nervenstrang. Dort verzweigt er sich und innerviert je nach Muskeltyp einige oder bis zu 1000 Skelettmuskelfasern. Motoneuron und innervierte Fasern bilden eine motorische Einheit. Ein Impuls des Zentralnervensystems, der über das Motoaxon läuft, trifft auf alle innervierten Faserzellen und bewirkt dort ein postsynaptisches Potential. Also werden alle Muskelfasern, die durch dieses Motoneuron innerviert werden, voll aktiviert und kontrahieren sich. Ob es sich bei der Kontraktion um eine einzelne Zuckung oder um eine anhaltende Kontraktion handelt, wird durch die Frequenz der eintreffenden Impulse bestimmt [Badtke, 1995].

Die Kontrolle der Gesamtkontraktion des Muskels wird durch die Aktivierung verschiedener Anzahlen motorischer Einheiten und der Variation der Impulsfrequenz ermöglicht.

Beim Kontraktionsvorgang werden nur so viele motorische Einheiten eines Muskels beteiligt, wie es zur geforderten Kraftentfaltung notwendig ist. Wenn diese ansteigt, werden größere höherschwellige motorische Einheiten zugeschaltet (rekrutiert). Diese motorischen Einheiten innervieren mehr Muskelfasern und können damit einen höheren Kraftbeitrag leisten.

Die Kraft wird auch dadurch verstärkt, dass die zuvor bereits tätigen Einheiten ihre Entladungsfrequenz erhöhen [Schnabel/ Harre/ Borde, 1997].

Zur Steuerung der Koordination gibt es zahlreiche Propriozeptoren. Im Muskel gibt es zwei entscheidende Spannungs- und Längenkontrollsysteme, die Muskelspindel und das Golgi-Sehnenorgan.

Die Golgi-Sehnenorgane bestehen aus etwa zehn extrafusalen Muskelfasern, die nahe dem muskulären Ursprung der Sehne in einer Bindegewebskapsel zusammengefasst sind und durch afferente Fasern innerviert werden. Die Sehnenorgane sind in Serie zur Muskulatur angeordnet. Verharrt der Muskel in seiner Ruhelänge, bleiben die Sehnenorgane inaktiv, bei Dehnung entladen sich die Sehnenorgane. Die Sehnenorgane sind Dehnungssensoren, die vorwiegend die mechanische Anspannung des Muskels registrieren.

Muskelspindeln liegen in der Regel parallel zu den extrafusalen Muskelfasern. Einige extrafusale Muskelfasern inserieren aber auch in die Kapseln von Muskelspindeln. Muskelspindeln sind maximal 3mm lang. Im Inneren der Muskelspindel befinden sich einige dünne Muskelfasern (Spindelmuskeln), deren Kontraktionszustand vom Zentralnervensystem über eigene motorische Nervenfasern, den Gamma-Motoneuronen, verändert werden kann. Diese Muskelfasern kontrahieren sich nur an ihren beiden Endabschnitten, wodurch sie den mittleren Teil, der sich nicht zusammenziehen kann, dehnen. Die Muskelspindeln werden für die Erhaltung einer bestimmten Gelenkstellung bzw. Körperhaltung benötigt. Außerdem können höhere Nervenzentren auf dem Weg über die Muskelspindeln die Länge des Skelettmuskels beeinflussen [Schnabel/ Harre/ Borde, 1997].

2.2.3. Trainingswissenschaftliche Grundlagen zum Krafttraining und zum vibrationsgestütztem Krafttraining

Wiederholte Beanspruchung durch sportliche Tätigkeiten führt zu bleibenden Veränderungen in den Funktionssystemen. Die methodische Grundstruktur des Krafttrainings, wie auch des vibrationsgestützten Krafttrainings, ist intermittierend und wird durch die Wiederholungsmethode charakterisiert. Dabei wird das Training in kurzen Serien gebündelt.

Nach jeder Serie folgt eine längere Erholungspause bis zum Beginn der nächsten Serie.

Durch Adaptation an das Krafttraining verbessert sich sowohl die Rekrutierung (Zuschaltung motorischer Einheiten), als auch die Synchronisation (gleichzeitige Aktivierung motorischer Einheiten); das Muskelfaserpotential wird vergrößert (Hypertrophie) und umfassender mobilisiert [Schnabel/ Harre/ Borde, 1997].

Hierbei dient ein Trainingsreiz im Sinne einer muskulären Beanspruchung der Störung der Homöostase. Dies führt zur Ermüdung des jeweilig beanspruchten Funktionssystems. Im Anschluss kommt es zu einer Regeneration des Organismus mit anschließender Superkompensation. Mit Superkompensation bezeichnet man die Reaktion des Körpers auf eine Belastung. Innerhalb des Körpers besteht normalerweise ein Gleichgewicht zwischen den aufbauenden und abbauenden Kräften. Dieses Gleichgewicht wird als Homöostase bezeichnet.

Eine ausreichend intensive Belastung führt zu einer Störung dieses biologischen Gleichgewichts. Diese Unstimmigkeit wird als Homöostasestörung bezeichnet.

Durch die Belastung während des Trainings wird der Körper dazu angeregt, sich auf zukünftige Belastungen vorzubereiten und ein neues Gleichgewicht auf einem höheren Niveau zu erreichen. Diese Anpassung des Leistungsniveaus auf ein höheres Niveau bezeichnet man als Superkompensation oder auch Überkompensation (Abb.3). Diese nur grob skizzierten Prozesse laufen nicht gleichzeitig im Organismus ab, sondern weisen einen organ- bzw. funktionssystembedingten "Wellencharakter" auf (Heterochronizität der Superkompensation).

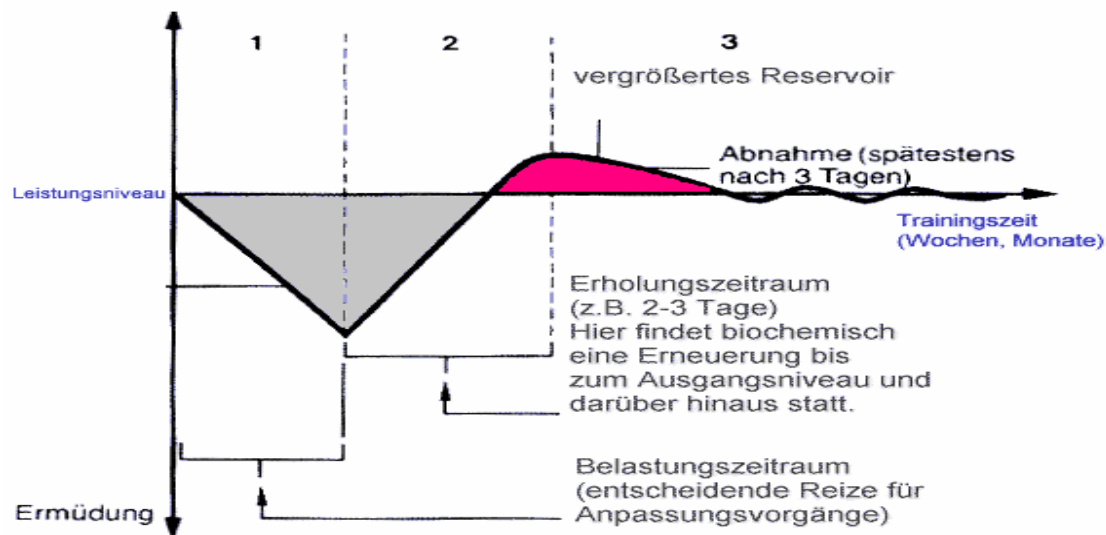


Abb.3 Das Modell der Superkompensation

Verschiedene Kontraktionsformen stehen im Krafttraining zur Verfügung. Dazu zählen dynamisch-konzentrische, dynamisch-exzentrische und isometrische Kontraktionen.

Bei einer dynamisch-konzentrischen Kontraktion wird der Muskel verkürzt, bei einer dynamisch-exzentrischen Kontraktion wird der Muskel trotz Anspannung länger. Die isometrische Kontraktion bewirkt eine Haltearbeit (statische Arbeit), es ergibt sich keine Längenveränderung, obwohl sich das kontraktile Element des Muskels verkürzt, um eine hohe Muskelspannung zu erzeugen [Schnabel/ Harre/ Borde, 1997].

Beim Krafttraining auf Vibrationsplattformen ergeben sich neben den genannten Kontraktionsformen weitaus mehr Größen, welche einen Einfluss auf die Dosierung und Wirkung des Trainings haben können. Dazu zählen die Art der Vibration, die Amplitude, die Frequenz und letztendlich die gewählte Position auf der Platte. Die Vielzahl von Variablen zur Trainingsteuerung macht deutlich, wie viele Variationsmöglichkeiten vibrationsgestütztes Krafttraining hat [Huber, 2006].

Wie der Körper mit Vibrationen unterschiedlicher Frequenz umgeht, soll im Folgenden skizziert werden: „Es gibt zwei Arten, wie der Körper Kräfte auffangen kann: Muskeln verarbeiten die Kräfte durch Längen- oder Spannungsänderungen.

Bei Längenveränderungen setzen die kontraktile Elemente der Muskulatur (Aktin und Myosin) die Kräfte in Bewegungen um. Bei der Spannungsveränderung speichern die nichtkontraktile Elemente der Muskulatur die Energie.

Bei langsamer Stimulation (< 15 Hz) wird die intermuskuläre Koordination trainiert, bei schnellen Stimulationen (20-27 Hz) vermehrt die intramuskuläre Koordination. Der Körper verarbeitet die beim Vibrationstraining entstehenden Kräfte abhängig von der Frequenz: Bei niedrigen Frequenzen dämpft die Muskulatur die Kräfte v. a. durch Längenveränderungen (durch Bewegung in den stimulierten Gelenken), bei hohen Frequenzen primär durch Spannungsveränderungen. Ab 25 Hz werden die Kräfte fast vollständig in den nichtkontraktilelementen verarbeitet (Abb. 4). Ab 30 Hz nimmt die Muskelspannung ab.“ So berichtet Burkhardt [2006].

Kräfteverarbeitung in der Muskulatur während der Vibration

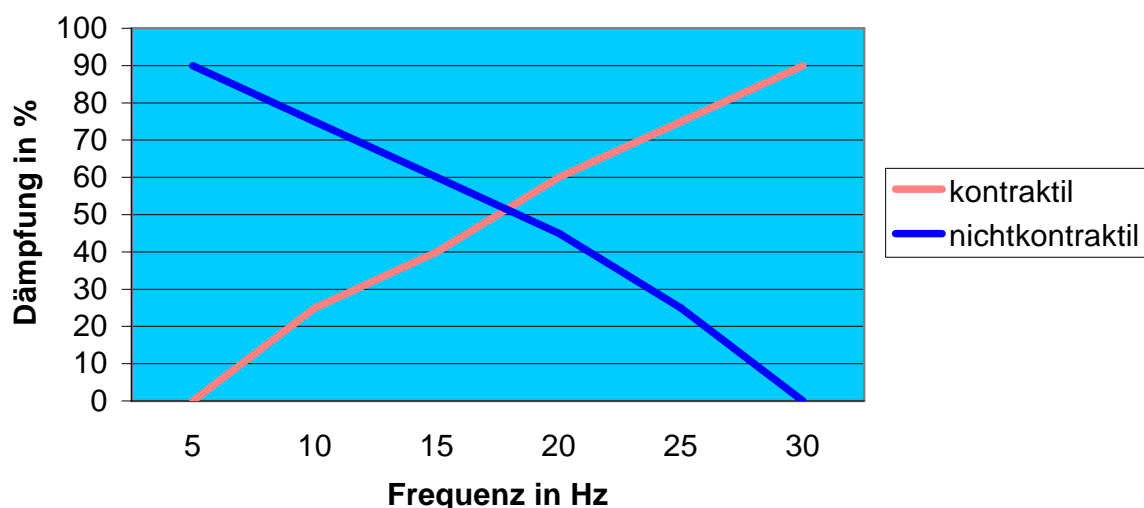


Abb.4 Kräfteverarbeitung in der Muskulatur während der Vibration: Erhöht man die Frequenz, verschiebt sich die Dämpfung von den kontraktilelementen zu den nichtkontraktilelementen

Betrachtet man die verschiedenen Wirkprinzipien von Ganzkörpervibrationstrainingsgeräten, gibt es wie bereits dargestellt zwei grundlegende Wirkprinzipien: Wippe und Platte. Bei der Entwicklung der Wippe (Galileo System), ließ sich der Hersteller von den verformenden Kräften beim Gehen oder Laufen leiten. Die Wippe (Galileo System) erzeugt sinusförmige Aufwärts- und Abwärtsbewegungen. Wenn der Übende beidbeinig auf der Wippe steht, die Füße rechts und links der Achse aufgesetzt, stößt diese rechts und links abwechselnd ein Bein nach oben.

„Bei vertikalen Systemen (z.B. Power Plate) kann der Körper die Kräfte nur durch Bewegungen um die transversale Achse auffangen. Diese Kräfte werden im oberen Sprunggelenk (Dorsalextension - Plantarflexion), im Knie (Flexion - Extension) und in der Hüfte (Flexion-Extension) gedämpft. Kräfte, die bis dorthin nicht gedämpft sind, werden in die Wirbelsäule eingeleitet (Abb.5 a).

Beim Galileo System werden auftretende Kräfte durch Bewegungen um die sagittale Achse gedämpft. Im oberen Sprunggelenk und im Knie erfolgt die Dämpfung wie beim vertikalen Vibrationssystem. In der Hüfte entsteht neben den Bewegungen in Flexion und Extension, Bewegungen in Abduktion und Adduktion und hiermit eingehend eine Rotation (Abb.5 b).

Durch das seitliche Kippen des Beckens entsteht eine Lateralflexion in der Wirbelsäule, welche natürlicherweise mit Rotation einght. Somit werden die Kräfte bis hoch in die Wirbelsäule verarbeitet.“[Burkhardt, 2006]

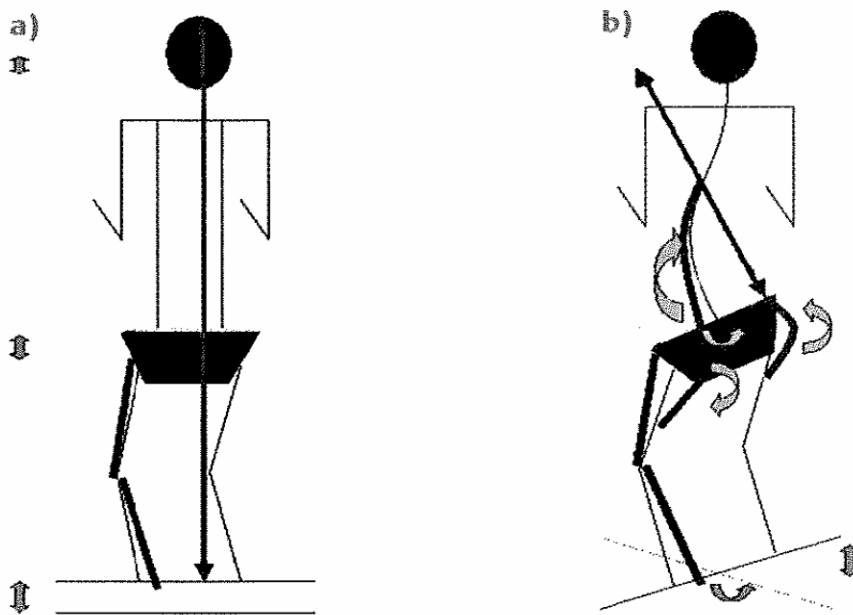


Abb.5 Vertikales Vibrationssystem (a) und Galileo System (b)

2.3. Zielsetzung der Studie

Auf Grund der aufgezeigten indifferenten Studienlage ergeben sich zahlreiche offene Fragen auf verschiedenen Ebenen.

Es werden zwar zahlreiche Thesen zu den Effekten mechanischer Schwingungsreize aufgeführt, häufig sind die Thesen noch nicht ausreichend aufgeklärt und im Sinne einer Evidenzbasierung des Vibrationstrainings wissenschaftlich gesichert, deshalb liegen in diesem Bereich noch Forschungsdefizite vor, so Haas et al. [2004]. Mit einer ersten prospektiven Vergleichsstudie zwischen dem Galileo System und der Power Plate soll zunächst der Vergleich zwischen seitenalternierenden Ganzkörperschwingungen, die reflektorisch im rhythmischen Wechsel zwischen linker und rechter Körperseite hervorgerufen werden (Galileo System) und nichtseitenalternierenden bipedalen Schwingungen mit reiner Auf- und Abbewegung (Power Plate) einen Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung des Vibrationstrainings leisten.

Zielsetzung der randomisierten komparativen Trainingsstudie war es, den Langzeiteffekt nach 10 Wochen Training mit 20 Trainingseinheiten zwischen den beiden Wirkprinzipien miteinander zu vergleichen. Als Outcome Parameter zur Evaluation dienten hierbei Daten der Kernspintomographie (MRI) als nicht invasives und zugleich hochpräzises Verfahren zur Quantifizierung des Hypertrophieeffekts des Zielmuskels (Oberschenkel). Der Prä-Post-Vergleich der Interventionswirkung auf Kraft und Leistung beim Sprungtest auf der Mechanographie Messplatte setzte die gefundenen morphologischen Ergebnisse in Beziehung zu physikalischen Kenngrößen. Inwieweit sich die eventuell verbesserten konditionellen bzw. koordinativen Fähigkeiten in lokomotorische Schnelligkeit umsetzen lassen, wurde im Prä-Post-Vergleich eines Sprinttests ermittelt.