

Vibrationstraining, Biomechanische Stimulation und Stochastische Resonanz Therapie¹

Eine interdisziplinäre Betrachtung präventiver und rehabilitativer Funktionen

Christian T. Haas

Grundlagen

Der Einsatz von Vibrationen hat sich innerhalb der letzten zehn Jahre zu einer viel und divergent diskutierten Trainings- und Therapiemethode entwickelt. Die Divergenz und teilweise vorhandene Emotionalität in den jeweiligen Diskussionsbeiträgen erscheint vor allem darin begründet, dass das Spektrum vorhandener Studienresultate sehr weit gefächert ist. So finden sich im Hinblick auf die vielfach untersuchten Auswirkungen von Vibrationen auf die motorische Kraft Veröffentlichungen, die eine Maximalkraftsteigerung von bis zu 50 Prozent innerhalb von drei Wochen postulieren (Issurin et al 1994, Bosco et al 1998, 1999, Spitzenpfeil et al

1999). Andere Untersuchungen identifizieren bei ähnlichen Trainingsdurchführungen keine oder nur sehr geringe Verbesserungen in Kraft- oder Schnellkraftparametern und deren elektrophysiologischen Korrelaten (Bongiovanni et al 1998, de Ruiter et al 2003, Schlumberger et al 2001, Künnemeyer & Schmidtleicher 1997, Löberbauer et al 2003). Unterschiede finden sich ebenfalls im Hinblick auf biochemische und elektrophysiologische Auswirkungen von Vibrationsreizen (Ariizumi & Okada 1983, 1985, Cardinale et al 2006, Kvorning et al 2006, McCall et al 2000, Nakamura et al 1992, 1994, Yamaguchi 1985, Überblick bei Haas et al 2004 und Cardinale & Wakeling 2005). Zudem sind die Input-Output Relationen durch nichtlineare, komplexe

¹ Diese in der Literatur zu findenden Begriffe weisen Überschneidungsbereiche auf, sind allerdings inhaltlich nicht identisch.

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende narrative Review gibt einen Überblick über die physiologischen Effekte von Vibrationsapplikationen und das damit verbundene rehabilitative Potenzial. Da Vibrationsreize und verwandte Stimulationsformen Reaktionen auf multiplen biologischen Ebenen mit sich bringen und zudem eine hohe Sensitivität für Veränderungen der Stimulationsparameter besteht, erscheint es wichtig, die Funktion dieser Einflussgrößen aufzuarbeiten, ohne dabei – aufgrund des komplexen Beziehungsgefüges – den Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu können. Dieser Beitrag zeigt auf, dass die Effekte von Vibrationsreizen von linearen Input-Output Relationen erheblich abweichen und Schädigungspotenziale wie auch rehabilitative Funktionen beinhalten. Letztere scheinen vor allem bei Defiziten in der muskulären Aktivierungsfähigkeit zu liegen. Im Hinblick auf koordinative Leistungen muss der Variabilität des Grundsignals (Stochastische Resonanz) entscheidende Bedeutung beigemessen werden.

Schlüsselwörter Vibration, Stochastische Resonanz, Rehabilitation, Neurodegeneration, Neurotrauma

Strukturen gekennzeichnet. Erklärbar sind diese Effektivitäten einerseits dadurch, dass zahlreiche, physio- und psychologische Ebenen auf Vibrationsreize reagieren. In Abhängigkeit von deren Wechselwirkungen ist es möglich, dass sich die Einzeleffekte – zum Beispiel neuronale und biochemische – gegenseitig fördern oder auch hemmen, mit entsprechenden Folgen für den Trainings- und Therapieerfolg als Gesamtergebnis und dessen Interpretation (Haas 2007).

Andererseits reagiert das System Mensch äußerst sensitiv auf Veränderungen der Stimulationsparameter – Ort der Vibrationseinleitung, Stimulationsdauer, Frequenz, Amplitude, harmonische Oszillation vs. stochastisch überlagerte Oszillation, Signal-to-Noise Ratio (S. 723) – sodass eine geringe Modifikation der Stimulationsbedingungen zu sprunghaften physiologischen und motorischen Zustandsänderungen führen kann (McCall et al 2000, Haas 2002, Haas et al 2004, Haas 2007). In Konsequenz ist es nur sehr eingeschränkt möglich, verbindliche und gleichzeitig einfache Aussagen – im Sinne einer »je-desto Beziehung« – zu den Effekten von Vibrationsreizen beim Menschen zu treffen, ohne den jeweiligen Komplex der Einflussgrößen mit anzuführen.

Zielstellung des vorliegenden Beitrags ist es, einen Überblick über die Effekte und Anwendungsmöglichkeiten von Vibrationsreizen im therapeutisch-rehabilitativen Kontext zu geben. Bezugnehmend auf diese Schwerpunktsetzung kann hier nicht auf die Auswirkungen von Vibrationen im Alltag oder in der Arbeitswelt eingegangen werden. Ebenso wird auf die Darstellung der Effekte von Vibrationstrainingsformen, die im Zusammenhang mit der sportlichen Leistungsfähigkeit stehen, weitgehend verzichtet. In beiden Bereichen sei auf die umfangreiche Spezialliteratur verwiesen. Eine Zusammenstellung ausgewählter Überblicksarbeiten zu den verschiedenen Effekten, Funktionen und Risiken von Vibrationseinwirkung beim Menschen findet sich in der Tabelle (Tab. 1).

Physiologische Reaktionen bei Vibrationseinwirkung

Als einer der wesentlichen physiologischen Funktionen bei der Applikation von Vibrationen gilt die Auslösbarkeit von muskulären Reflexantworten. Dieses Phänomen wurde Mitte der sechziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts von Matthews (1966) sowie Hagbarth und Eklund (1966) auf der Basis von tier- und humanexperimentellen Daten beschrieben und als »Tonic Vibration Reflex« bezeichnet. Spätere Analysen zeigten, dass die jeweilige Reflexaktivität interindividuell stark variieren kann, was unter anderem durch unterschiedliche tonische Voraktivitätszustände erklärbar ist (Hagbarth et al 1976). Ebenso spielen Ort und >>>

ABSTRACT

This narrative review provides an overview of physiological effects of vibratory stimulations and related rehabilitative potentials. In humans vibration-like stimuli are connected with various effects on multiple biological levels and furthermore humans react highly sensitive when stimulations parameters change. In consequence, several complex interactions result which necessitates shedding light on selected aspects, only.

This paper shows that physiological effects of vibratory stimulations are far from linear input-output relations and vibration might cause harm or even be physiologically helpful. Referring to the latter vibrations can be an effective treatment, primarily in patients with neuromuscular activation deficits. In order to avoid habituation and with respect to coordinative training effects it is suggested to avoid strong harmonic signal courses. In contrast superimposition of stochastic components has been found to improve signal detection and integration.

Keywords Vibration, Stochastic Resonance, Rehabilitation, Neurodegeneration, Neurotrauma

Tab. 1_Ausgewählte Übersichtsarbeiten (in alphabetischer Reihenfolge) zu den biomechanischen und physiologischen Effekten unterschiedlicher Vibrationsformen.

Die Arbeiten von Gammaitoni et al (1998) sowie Wellens et al (2004) setzen sich mit dem Phänomen der Stochastischen Resonanz auseinander

Referenz / Autor	Primäre Bezüge
Cardinale / Wakeling (2005) <i>Whole body vibration exercise: are vibrations good for you?</i> Br J Sports Med	Muskuläre Aktivität, muskuläre Leistungsfähigkeit, biochemische und metabolische Effekte
Gammaitoni et al (1998) <i>Stochastic Resonance</i> Reviews of Modern Physics	Stochastische Resonanz, Noise, Signal-to-Noise Ratio, sensorische Effekte, Detektion, Signalerfassung, neurophysiologische Aspekte, neuronale Entladungsmuster und Schwellwertüberschreitung
Griffin (1996) <i>Handbook of Human Vibration</i> San Diego: Academic Press	Umfassende Zusammenstellung über biodynamische und physiologische Effekte von Vibrationseinwirkungen, insbesondere im Hinblick auf Schädigungsmöglichkeiten in der Arbeitswelt, Präventionsmaßnahmen, Norm- und Gesetzgebung
Haas et al (2004) <i>Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen</i> Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin	Effektebenen, Mechanik, Physiologie, Auswirkungen auf Propriozeption und Koordination, Auswirkungen auf die motorische Kraft, akut-, ad-hoc- und Langzeiteffekte
Haas (2007) <i>Mechano-oszillatorische Reizapplikation beim Menschen</i> Habilitationsschrift Frankfurt am Main	Interaktionsmechanismen, physiologische Wirkstruktur, Stochastische Resonanz, Parkinson, spinale Läsion, Propriozeption, Gang und Gleichgewicht, neurotrophe Faktoren, Neuroprotektion, Theta-Burst-Stimulation
Haas & Schmidtbleicher (2007) <i>Zum Einsatz von Vibrationsreizen in der Neurorehabilitation</i> Psychologie in Österreich	Physiologische Effekte, therapeutische Effekte, Stochastische Resonanz
Jordan et al (2005) <i>Vibration Training: An Overview of the Area, Training Consequences, and future Considerations</i> Journal of Strength and Conditioning Research	Vibrationsformen, Vibrationsübertragung, Auswirkungen auf den Muskel, Kontraindikation und Schädigungen, Trainingsparameter, Auswirkungen auf den gesunden Menschen und den Athleten
Mansfield (2004) <i>Human Response to Vibration</i> Boca Raton: CRC Press	Vibrationsbelastung, Arbeitssicherheit, gesetzliche Standards
Mester et al (2006) <i>Vibration training: benefits and risks:</i> Journal of Biomechanics	Training, Kraft, Vibration, Frequenz, Amplitude, kardio-vasculäre Effekte, Risiken
Müller et al (2003) <i>Elektrostimulation und Whole-Body-Vibration: zwei erfolgreiche Krafttrainingsmethoden?</i> Leistungssport	Whole-Body-Vibration vs. Elektrostimulation, Kraft- und Krafttraining
Nordlund / Thorstensson (2007) <i>Strength Training effects of whole body vibration</i> Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	Systematischer Review, Kraft und -training, Sprungkraft und -training, neuronale Mechanismen
Rehn et al (2007) <i>Effects on leg muscular performance from whole body vibration exercise: a systematic review</i> Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	Systematischer Review, Kraft und -training, Sprungkraft und -training
Wellens et al (2004) <i>Stochastic Resonance</i> Reports on Progress in Physics	Stochastische Resonanz (SR) in biologischen Systemen, SR auf Verhaltensebene, SR im neuronalen System, SR in Ionen-Kanälen

Art der Vibrationseinleitung (direkt auf den Muskel-Sehnenapparat vs. indirekt über Gelenkbewegung), **Frequenz, Dauer etc. eine entscheidende Rolle für das Zustandekommen eines Reflexes und dessen Muster.** Die Ursache ergibt sich dadurch, dass der Mensch ein mehrfach massen- und federgekoppeltes Oszillatoren-System darstellt, wodurch mehrere komplexe und frequenzselektive Filter- und Dämpfungsmechanismen entstehen. In Abhängigkeit von Ort und Art der Vibrationseinleitung, der jeweiligen Körperposition und den Stimulationsfrequenzen können am angestrebten Wirkungsort differierende und auf mathematischer Ebene nicht vorhersagbare Frequenz- und Energieanteile sowie Phasenlagen (☉_S. 722) auftreten (Haas et al 2004, Haas 2007).

Ferner zeigte sich, dass eine hohe Sensitivität im Hinblick auf die Dauer der Vibrationsapplikation besteht, sodass bereits **nach wenigen Minuten Dauerstimulation eine erhebliche Reduktion in der Reflexaktivität** die Folge sein kann (van Boxtel 1986, Künnemeyer & Schmidtbleicher 1997, Bongiovanni et al 1998). Die Effekte einer chronischen Vibrationsapplikation sowie die Pathologie von vibrationsinduzierten Krankheitsbildern und Schädigungen sind umfangreich in der arbeitsphysiologischen Literatur beschrieben (Griffin 1996, Mansfield 2004, Palmer et al 2002, Dupuis & Zerlett 1984).

Unter Berücksichtigung dieses multivariaten und komplexen Beziehungsgefüges sind Aussagen in der Form, dass eine mit einer bestimmten Frequenz und Amplitude auf den Körper des Menschen übertragene Vibration pauschal den idealen Stimulationsparametern (Frequenz, Amplitude) eines Muskels entspricht und somit einen (optimalen) Reflex auslöst, nicht zulässig. Vielmehr erscheint es notwendig, nicht nur den Vibrationsinput und vermeintliche auf den Muskel angepasste Idealfrequenzen zu betrachten, sondern auch **frequenzbandabhängige Synchronisationsphänomene zwischen endogen- und exogen-generierten neuronalen Oszillationen als funktionale Systemkomponente** zu berücksichtigen, da hierdurch Verstärkungs- oder Abschwächungsphänomene entstehen können (Glass 2001, Glatt et al 2008, Linkenkaer-Hansen et al 2004 a, b, Haas 2002, Haas 2007).

Analog zu diesen Funktionen lassen sich auch keine einfachen, linearen Interaktionen zwischen Vibrationseinwirkungen und biochemischen Reaktionen identifizieren, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass **Hormone und Neurotransmitter nicht ausschließlich physiologische Parameter darstellen, sondern ebenfalls ein Korrelat des jeweiligen psychischen Status sind, welcher selbst wiederum durch Vibrationsreizgebung modifizierbar ist** (Haas et al 2004, Haas 2007).

Selbst wenn eine gezielte Ansteuerung der verschiedenen physiologischen Funktionen durch die Applikation bestimmter Vibrationskonfigurationen nur bedingt umsetzbar ist, ist es gleichwohl möglich, **Stimulationsbedingungen auszuwählen** (hierzu zählen nicht nur die **physikalischen Stimulationsparameter**, sondern ebenfalls die **Körperposition, Pausenzeiten, Fokus der Aufmerksamkeit, Periodisierung des Trainings, Einbindung weiterer Therapiemaßnahmen etc.**), die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, **dass sich bestimmte, physiologisch sinnvolle Zustands- oder Verhaltensmuster einstellen.** Vor diesem Hintergrund widmen sich die nachfolgenden Ausführungen denjenigen Stimulationsparametern, die therapeutisch-rehabilitativ tragfähig erscheinen. Um eine adäquate Einordnung und Anknüpfung möglich zu machen, werden zunächst einige ausgewählte Perspektiven in der Rehabilitation dargestellt.

Ausgewählte Perspektiven in der Rehabilitation

In Orientierung an der Vielzahl von Krankheitsbildern und Verletzungen sowie den verschiedenen Facetten der Rehabilitation ist es nicht möglich, im vorliegenden Rahmen einen inhaltlich ansprechenden Überblick über alle Perspektiven zu geben. Der Fokus dieses und des nachfolgenden Abschnittes ist folglich enger und liegt in erster Linie auf neurophysiologischen, -rehabilitativen und -protektiven Aspekten der Bewegungstherapie und den damit einhergehenden Potenzialen des Vibrationstrainings und dessen Analogika.

Defizite in der muskulären Aktivierungsfähigkeit sind ein weit verbreitetes Phänomen bei >>>

unterschiedlichen Krankheitsbildern, Schädigungen und Traumata. Analog und gekoppelt zeigen sich häufig Einschränkungen in der posturalen Kontrolle sowie in der Lokomotionsfähigkeit. Eine augenfällige Folge dieser Defizitstruktur ist eine Reduktion des alltäglichen Bewegungs- und Trainingsumfangs sowie eine weitgehende Vermeidung schneller Bewegungsabläufe (Booth et al 1997, 2000, Vaynman & Gomez-Pinilla 2005, Haas 2007). Ebenso zeigen sich bei neurodegenerativen Krankheitsbildern – wie zum Beispiel bei Morbus Parkinson – bedeutende Korrelationen zwischen den Störungen der posturalen Kontrolle, der Lokomotionsfähigkeit und den Einschränkungen in der Lebensqualität (Schrag et al 2000, Ashburn et al 2001, Karlsen et al 2000).

Während es zu Beginn eines Traumas oder Krankheitsverlaufs noch naheliegend erscheint, dass die Bewegungseinschränkungen Folgeerscheinungen darstellen, fällt es mit dem weiteren Voranschreiten schwierig, eine klare Kausalbeziehung aufzustellen und zwischen Ursache und Wirkung zu differenzieren (Booth et al 2000, Mattson & Magnus 2006). Erklärungspotenzial für dieses Phänomen bieten vor allem Studien, die **Zusammenhänge zwischen physischer Aktivität, der daraus resultierenden neuronalen Aktivität und der Freisetzung von neurotrophen Faktoren** (S. 722) identifizieren konnten. Zwar sind hinsichtlich der Funktionsweise **neurotropher Faktoren** noch zahlreiche Fragen offen, gleichwohl liegen gute empirische Hinweise vor, dass sie elementare **neuroprotektive und -restorative Funktionen besitzen** (Lu 2003, Gómez-Pinilla et al 2002, Russo-Neustadt et al 1999, Vaynman & Gomez-Pinilla 2005). So konnten einerseits bei Parkinson, Alzheimer, Huntington und weiteren neurodegenerativen Krankheitsbildern reduzierte Mengen an neurotrophen Faktoren in verschiedenen Hirnarealen nachgewiesen werden (Mattson & Magnus 2006, Vaynman & Gomez-Pinilla 2005). Andererseits zeigen mehrere tierexperimentelle Designs, dass vermehrte Trainingsreize (»forced use«) mit einer gesteigerten Freisetzung neurotropher Faktoren einhergehen (Hutchinson et al 2004, Molteni et al 2004, Ying et al 2005). **Werden motorische Trainingsreize gezielt im neurotoxisch ausgelösten Parkinson Modell eingesetzt, so können erheblich ver-**

ringerte Neurodegenerationen identifiziert werden (Cohen et al 2003, Tillerson et al 2001, zur Übersicht: Vaynman & Gomez-Pinilla 2005). **Umgekehrt führen Schonhaltungen (»forced non use«) zu beschleunigten neurodegenerativen Veränderungen** (Tillerson et al 2002). Ähnliche Resultate gehen ebenfalls aus ALS- (Amyotrophe-Lateral-Sklerose) oder Alzheimer-Tiermodell Studien hervor (The BDNF study group 1999).

In der Simulation von inkompletten Rückenmarksschädigungen wurde deutlich, dass eine größere tägliche Laufstrecke mit einer höheren Expression von neurotrophen Faktoren einhergeht und in der Folge stärkere neuronale Wachstumsvorgänge bewirkt (Molteni et al 2004, Ying et al 2005). Hutchinson et al (2004) verglichen verschiedene Bewegungsformen und Trainingsmethoden, wie Stehen, Schwimmen, Laufen, und stellten fest, dass **Laufbewegungen mit den höchsten Freisetzungen von neurotrophen Faktoren** verbunden sind, die wiederum mit reduzierten neuropathologischen Reaktionen einhergehen. Die aus dieser Defizitstruktur resultierende trainingspraktische Konsequenz wäre eine Ausweitung und Intensivierung des alltäglichen beziehungsweise wöchentlichen Lauftrainings. Allerdings ist dies bei zahlreichen Patienten aus koordinativen und energetischen Gründen nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Ursächlich verbunden ist hierbei das Phänomen, dass bereits relativ kurze Inaktivitätsphasen nachhaltige neuromuskuläre Dysfunktionen bewirken. **Immobilisationsstudien** zeigen – neben einer **Reduktion der Proteinbiosynthese und muskulären Atrophien – eine Veränderung des Muskelfaserspektrums** (Diffee et al 1991, Fitts et al 1986, Fitts et al 2000, Winiarski et al 1987, Stevens et al 1993, Widrick et al 2001, Booth et al 1997). **Durch das Fehlen eines ausreichenden Maßes an langsamen tonischen Muskelaktivierungen reduziert sich der Anteil neuronal niederschwelliger Einheiten** (Otis et al 2004, Roy et al 1991, Dupont-Veerstegen et al 1998). **Ein damit verbundener relativ hoher Anteil schneller, hochschwelliger Einheiten führt zu dem Problem, dass kortikal generierte Erregungen potenziell nicht überschwellig werden, somit keine muskuläre Kontraktion bewirken und kein wirksamer musku-**

läerer Trainingsreiz entsteht (Haas 2007). Ferner leidet die oxidative Kapazität und Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Patienten unter der Umwandlung des Muskelfaserspektrums.

Bezug nehmend auf die Möglichkeit, durch die Applikation von Vibrationsreizen muskuläre Reflexantworten auszulösen und somit neuronale und muskuläre Aktivität quasi extern zu generieren, ergeben sich Anknüpfungspunkte, um den angeführten pathologischen Veränderungen entgegenwirken zu können (Haas 2007, Pearson 2001).

Therapeutische Effekte von Vibrationseinwirkungen

Therapeutisch-rehabilitative Effekte von Vibrationseinwirkungen beim Menschen sind bereits im 19. Jahrhundert durch den französischen Neurophysiologen Jean-Marie Charcot (1825-93) beschrieben worden, der derartige Reizformen unter anderem zur Behandlung von Parkinson einsetzte (Rafael 2004).

Effekte bei neurodegenerativen Krankheitsbildern

Neben den historischen Befunden von Charcot beschäftigen sich auch in neuerer Zeit einige Untersuchungen mit dem Wirkungsspektrum von Vibrationsreizen bei neurodegenerativen Krankheitsbildern, sowohl im Hinblick auf rehabilitative Aspekte als auch zur Überprüfung der sensorischen Funktionsfähigkeit. Bei Morbus Parkinson zeigte sich, dass die Applikation hochfrequenter Vibrationsreize (> 16 Hz) auf einen Muskelsehnenkomplex, welche bei gesunden Personen zu Fehlwahrnehmungen (kinästhetische Illusionen) und deutlichen Beeinträchtigungen bei der Ausführung von Zielbewegungen führt, einen wesentlich geringeren akuten Einfluss auf das Bewegungsverhalten ausübt (Cordo et al 1995 Rickards & Cody 1997, Khudados et al 1999, Ivanenko et al 2000 a, b, Verschueren et al 1999 a, b, Verschueren et al 2003, Steyvers et al 2003). Diese Unterschiede werden einer pathologisch modifizierten Verarbeitung propriozeptiver Signale zugeschrieben. Prätorius et al (2003) identifizierten

in einem vibrationsinduzierten Detektionsexperiment signifikant höhere Schwellwerte bei Parkinsonpatienten. Die Autoren spekulieren, dass diese Pathologie Defizite in der posturalen Kontrolle verursachen und erklären könnte. Smiley-Oyen et al (2002) fanden hingegen keine Verhaltensunterschiede zu gesunden Kontrollgruppen bei Vibrationsapplikation auf den M. soleus, was auf das frühe Krankheitsstadium der Parkinsonpatienten zurückgeführt wurde.

Feys et al (2006) überprüften in einem ähnlichen Design die Effekte von Muskel-Sehnen-Vibrationen auf die Wahrnehmung und Bewegungssteuerung von MS (Multiple Sklerose)-Patienten mit und ohne Tremor. MS-Patienten ohne Tremor zeigten die gleiche vibrationsinduzierte Beeinträchtigung in der Bewegungssteuerung wie gesunde Personen. MS-Patienten mit Tremor wiesen hingegen eine signifikant geringere Beeinträchtigung der Zielbewegung auf, sodass hier nicht prinzipiell von einer pathologischen Propriozeption von MS-Patienten ausgegangen werden kann. Die Autoren argumentieren, dass in der Tremorgruppe eine extensive Voraktivierung der Agonisten und Antagonisten zum Zwecke der Tremor-Kontrolle vorhanden ist und somit weniger vibrationsinduzierte Fehlleistungen zustande kommen können. Gleichzeitig zeigte sich, dass der Vibrationsreiz zu einer Amplitudenvergrößerung des Tremors in dieser Gruppe führte, was die Autoren auf die Stimulation der Reflexschleifen zurückführen. Jöbges et al (2002) fanden hingegen, dass die Übertragung hochfrequenter Vibrationsreize auf tremorgenerierende Muskelgruppen von Parkinsonpatienten mit akuten Tremorreduktionen (zumindest bei geringen Tremoramplituden) einherging, sobald die Vibrationsstimulation aktiviert wurde. Die Autoren spekulieren einerseits über die **Möglichkeit, dass der Tremor durch den Vibrationsstimulus auf spinaler Ebene über Reflexschleifen gedämpft werden könnte** – was konträr zur zuvor angeführten Verstärkungstheorie stünde. Andererseits wird das Argument angeführt, dass durch die Reizgebung ein kurzfristiger »Reset« hypersynchronisierter neuronaler Tremoroszillationen entsteht. Denkbar ist sicherlich auch, dass die divergenten Resultate auf unterschiedliche Tremorformen >>>

(z. B. Ruhe-, Initial-, Aktionstremor) und damit verbundene Entstehungsmechanismen zurückzuführen sind.

Spiegel et al (2002) übertrugen in verschiedenen Designs repetitive elektrische Signale – theta Frequenzband (🎵_S. 723) – auf die tremorgenerierende Muskulatur beziehungsweise deren Nervenbahnen und stellten mehrfach während der Stimulation signifikante Erhöhungen der Tremorfrequenz fest, was die Autoren als ein Indiz für eine enge funktionale Verknüpfung zwischen propriozeptiven Afferenzen und dem Parkinsontremor interpretieren.

Analog zur Studie von Jöbes et al (2002) zeigen auch eigene Untersuchungen Auswirkungen von Vibrationsstimuli auf Tremorererscheinungen bei Morbus Parkinson (Haas et al 2006a, Haas 2007). Im Gegensatz zum zuvor dargestellten Design wurden hier Ganzkörperoszillationen sowie andere Frequenzbereiche (theta Frequenzband, randomisiert, siehe auch Abschnitt weiterführende Überlegungen) eingesetzt und die nach der Stimulation auftretenden Effekte mittels des motorischen Teils des UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) Tests analysiert. Während akut (während der Stimulation) mehrfach eine Verstärkung des Tremors feststellbar war, konnte nach der Reizgebung eine hochsignifikante Reduktion des Tremors in Höhe von durchschnittlich 25 Prozent identifiziert werden. Eine ähnliche Symptomreduktion zeigte sich beim Rigor (24 Prozent). In der motorischen Gesamtsymptomatik konnten durchschnittlich 15,8 Prozent identifiziert werden, mit dem Trend einer Verbesserung im weiteren Zeitverlauf.

Turbanski und Kollegen (Turbanski et al 2005, Turbanski 2006, Haas 2007) überprüften mit einem ähnlichen Stimulationsansatz und biomechanischen Analyseverfahren die Auswirkungen auf posturale Kontrollmechanismen von Parkinsonpatienten. Die Daten zeigen mehrfach signifikante und klinisch relevante Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe zugunsten letzterer. Ebersbach et al (2008) verglichen in einer kontrollierten Studie die Effekte einer konventionellen Physiotherapie und eines Vibrationstrainings im Hinblick auf die Gleichgewichtsregulation und Gehfähigkeit bei L-Dopa resistenten Parkinsonpatienten. In den

meisten Testparametern wiesen beide Gruppen Verbesserungen auf, ohne sich signifikant voneinander zu unterscheiden. In der Posturographie zeigte nur die Vibrationsgruppe eine signifikante Verbesserung, ohne dass Gruppenunterschiede bedeutsam ausfielen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass kein Unterschied zwischen konventioneller Physiotherapie und dem dort eingesetzten Vibrationstraining besteht.

Bezug nehmend auf die verschiedenen motorischen Effekte von Vibrationsstimuli erscheint es notwendig zu betrachten, welche physiologischen Mechanismen denjenigen Reizkonfigurationen zugrunde liegen, die zu einem positiven Outcome führen. Im Hinblick auf die von unserer Arbeitsgruppe durchgeführten Experimente zeigte sich, dass sich der Stimulus positiv auf unterschiedliche Symptomgruppen von Parkinsonpatienten auswirkt – Placeboeffekte können als gering erachtet werden (Haas et al 2006a). Ferner fanden Schuhfried et al (2005) sowie Haas und Schmidtbleicher (2006) analoge Auswirkungen der Reizgebung auf die Gleichgewichtsregulation von MS-Patienten und dementsprechend ist es unwahrscheinlich, dass hier nur ein einzelner Wirkmechanismus angesprochen wird.

Bezüglich des Auftretens von Effekten auch in den oberen Extremitäten bei Morbus Parkinson ist von einer zentralnervalen, supraspinalen Funktionsveränderung auszugehen (Haas et al 2006a, Haas 2007). Denkbar ist vor allem eine kurzfristige, phasische Freisetzung von Dopamin, wodurch Folgewirkungen auf die Aktivität anderer Hirnareale möglich sind. Die Basis dieser Spekulation resultiert daraus, dass die verwendete Signalform einer Randomisierungsfunktion unterliegt und somit die Nutzung eines konstanten neuromuskulären Regulationsmusters nicht möglich ist und stattdessen beständige Rekalibrationen und Anpassungen an neue Bedingungen gefordert werden. Aus tierexperimentellen Designs ist wiederum bekannt, dass Neuigkeit – beziehungsweise eine **geringe Antizipierbarkeit der Anforderungssituation – einen starken Reiz für das dopaminerge System darstellt** (Schulz 1998). Einhergehend mit dieser Argumentation fanden Nelson et al (2004), dass eine **Signalrandomisierung eine höhere Aktivität in der supplementär motori-**

schen Area (SMA) bewirkt als ein Sinusreiz. Von der SMA ist wiederum bekannt, dass sie eng mit dem dopaminergen Wirkungssystem verknüpft ist und bei Morbus Parkinson häufig eine zu geringe Aktivität aufweist. Folglich kann man darüber spekulieren, dass ein Ausgleich hypoaktiver kortikaler Funktionen durch den peripheren Reiz hervorgerufen werden kann und hierdurch die motorischen Verhaltensänderungen bewirkt werden (Haas et al 2006a).

Hinsichtlich der identifizierten Tremorreduktionen kann man ebenfalls die Hypothese aufstellen, dass eine Desynchronisation hypersynchronisierter neuronaler Oszillationen zentralen Ursprungs erfolgt, da das Frequenzband (theta) des Tremors und des peripher applizierten Grundstimulus identisch sind. Im Gegensatz zu den Posteffekten zeigte sich während der Stimulation mehrfach eine Verstärkung des Tremors, welches als Synchronisationsphänomen interpretiert wird und das prinzipielle Entstehen solcher Funktionen darlegt.

Über diese pathologietypischen Erklärungen hinaus müssen die Effekte bei MS über andere Wirkmechanismen erklärt werden. Ausführungen hierzu finden sich im Abschnitt weiterführende Überlegungen.

Effekte bei Neurotraumata

Wie bereits beschrieben können hochfrequente Muskelvibrationen zu Fehlwahrnehmungen und

Störungen in der Bewegungskontrolle bei gesunden Personen führen. Schindler et al (2002) applizierten in einer Crossover-Längsschnittstudie hochfrequente Vibrationsreize unilateral auf die Nackenmuskulatur bei Patienten mit räumlichem Neglect. In mehreren Orientierungsparametern fanden sie in der vibrationsstimulierten Gruppe in den »Follow up Tests« eine klinisch bedeutsame bessere Leistungsfähigkeit. Die Erklärungsansätze sind multimodaler Art und deuten vor allem darauf hin, dass die Abstimmung der Vibrationsparameter auf das jeweilige Krankheitsbild eine zentrale Bedeutung für die jeweiligen therapeutischen Effekte und Potenziale hat.

Ad-hoc Effekte eines Ganzkörpervibrationstrainings (Ampl. 5 mm, Freq. 20 Hz) überprüften Tihanyi et al (2007) bei Schlaganfall-Patienten. Die Datenanalyse zeigte ein signifikant besseres Kraftverhalten der Knieextensoren in der vibrationstrainierten Gruppe. Analog konnten auch größere Anstiege in der EMG (Elektromyographie) Aktivität der leistungsgenerierenden Muskulatur sowie eine geringere Aktivität der Antagonisten in der Experimentalgruppe identifiziert werden. Die Autoren spekulieren über eine vibrationsbedingte verringerte präsynaptische Hemmung, eine ebenso geringere postsynaptische Depression und eine daraus resultierende Fähigkeit mehr motorische Einheiten zu rekrutieren. >>>

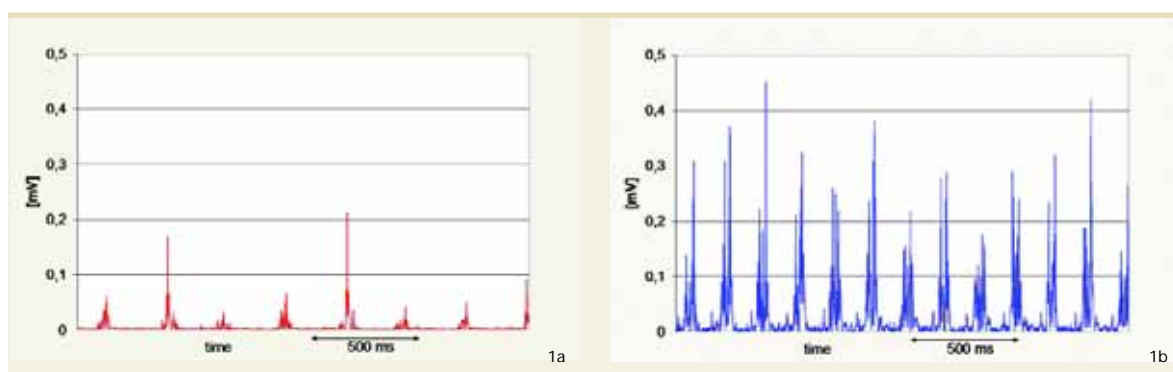


Abb. 1_Reflexmuster des M. rectus femoris eines Patienten mit spinaler Läsion während der Stimulation mit Mechano-Oszillationen des theta Frequenzbandes. Während zu Beginn der Untersuchung (links) einfache und kleine Reflexantworten generiert wurden, zeigt sich nach 14 Wochen Training (3 Trainingseinheiten / Woche) ein hochgradig intensiveres und komplexeres Reflexmuster. Es ist anzunehmen, dass diese Veränderungen der muskulären Aktivität auf eine Umstrukturierung des neuronalen Netzes zurückzuführen sind, welche sowohl von der Auswahl des Frequenzbandes (theta) als auch von den Überlagerungen durch stochastische Einflüsse (Stochastische Resonanz) anhängig sind

Bei Patienten mit spinalen Läsionen übertragen Gurfinkel et al (1998) Vibrationsreize von 20 bis 60 Hz auf Muskelgruppen der unteren Extremitäten.

Unter Körpergewichtsentlastung konnten mit einer derartigen Reizgebung quasi-rhythmische Schreitbewegungen ausgelöst werden. Wahrscheinlicher Hintergrund dieses Phänomens ist – analog zu der Effektstruktur der Lokomotions- beziehungsweise Laufbandtherapie – die durch die Stimulation der Afferenzen hervorgerufene Anregung spinaler Rhythmusgeber (Central Pattern Generator), die nachfolgend autark weiterarbeiten und muskuläre Aktivierungsfolgen generieren, welche wiederum die Lokomotionsfähigkeit unterstützen (Pearson 2000, 2001, Edgerton et al 2001, van de Crommert et al 1998). Trotz der interessanten grundlagenphysiologischen Resultate von Gurfinkel et al (1998) liegen hier keine weiteren Untersuchungen zu praktischen rehabilitativen Bezügen vor.

Eigene Längsschnittuntersuchungen bei Patienten mit spinalen Läsionen, die über Zeiträume zwischen 8 und 16 Wochen mit niederfrequenten (4-6 Hz) und mit Rauscheinflüssen überlagerte Mechano-Oszillationen in quasi-stehender Position (z.T. Körpergewichtsreduktion) stimuliert wurden (2-3 Trainingseinheiten/Woche zu jeweils 5 bis 10 Serien à 60 Sekunden), zeigen sowohl Anpassungen im Reflexmuster als auch in der Lokomotionsleistung. Weitgehend unabhängig von Läsionshöhe und -umfang der Patienten kann zu Beginn des Trainings die Auslösung von einfachen Reflexabfolgen in verschiedenen Muskelgruppen der unteren Extremitäten beobachtet werden. Im weiteren Verlauf kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Reflexstärke – bei gleichzeitig reduzierter Spastizität – und ferner zeigt sich ein weitaus komplexeres Reflexmuster (Abb. 1) (Haas & Schmidbleicher 2007). Mit Bezug auf die bereits angeführten tierexperimentellen Untersuchungsergebnisse lässt sich die Hypothese aufstellen, dass die schnellen Bewegungsstimuli – in Kombination mit stochastischen Einflüssen – und die damit verbundenen Muskelspindelafferenzen, eine Freisetzung neurotropher Faktoren bewirken, welche zu einer Umstrukturierung des neuronalen Netzes führen. Ähnliche neuroplastische Effekte sind beschrieben als Resultat einer »Theta Burst Sti-

mulation« – eine Signalform, die sowohl im Hinblick auf das Frequenzband (theta) als auch bezüglich nichtlinearer Signalkomponenten markante Parallelen zu dem von uns verwendeten Oszillationstyp aufweist (Talelli et al 2006, Haas 2007).

Im Hinblick auf die Lokomotionsfähigkeit von inkomplett spinal läsierten Patienten zeigt ein Gruppenvergleich mit insgesamt 40 Personen einen bedeutend höheren Wiederherstellungsgrad bei denjenigen Patienten, die zusätzlich mit Mechano-Oszillationen der oben beschriebenen Form stimuliert wurden (Haas et al 2005). Lokomotorische Testbatterien verdeutlichen die Modifikationen in nachfolgenden Studien. So konnten bei chronisch läsierten Patienten im »Get up and Go Test« innerhalb von 8 Trainingswochen (3 Trainingseinheiten pro Woche) klinisch relevante Leistungsverbesserungen zwischen 15 und 89 Prozent erreicht werden. Biodynamische Analysen des Gangbildes zeigen ebenfalls deutliche Veränderungen (Abb. 2). So sind Seitenasymmetrien im Gangbild in dem Ausgangstest stark reduziert, einhergehend mit einer höheren Schrittfrequenz. Beide Phänomene kennzeichnen ein sichereres Bewegungsverhalten.

Erklärbar erscheinen diese Resultate durch das Zusammenwirken mehrerer Ebenen. Wir nehmen an, dass initial das neuronale Kalibrationssystem durch die Randomisierung des Grundstimulus und die damit einhergehenden Instabilitätsphasen in die Lage versetzt wird, eine Rekalibration durchzuführen und damit pathologische Verhaltensmuster aufzugeben. Analoge Mechanismen sind in der Synergetik, beim differenziellen Lernen und der Neuropsychologie beschrieben (Schöllhorn 1999, Schöllhorn 1998, Halford et al 1998, Haken 1983). Die Etablierung neuer physiologischer Bewegungsmuster bedarf darüber hinaus einer Umstrukturierung des neuronalen Netzes. Anhaltspunkte hierfür gehen aus EMG-Analysen hervor, welche – wie beschrieben – nachhaltig veränderte Reflexmuster im Trainingsverlauf identifizieren konnten.

Effekte bei älteren Personen

Auf der Basis einer Personenstichprobe von 523 Männern und Frauen im Alter zwischen 26 und 95 Jahren zeigten Deshpande et al (2008) eine alters-

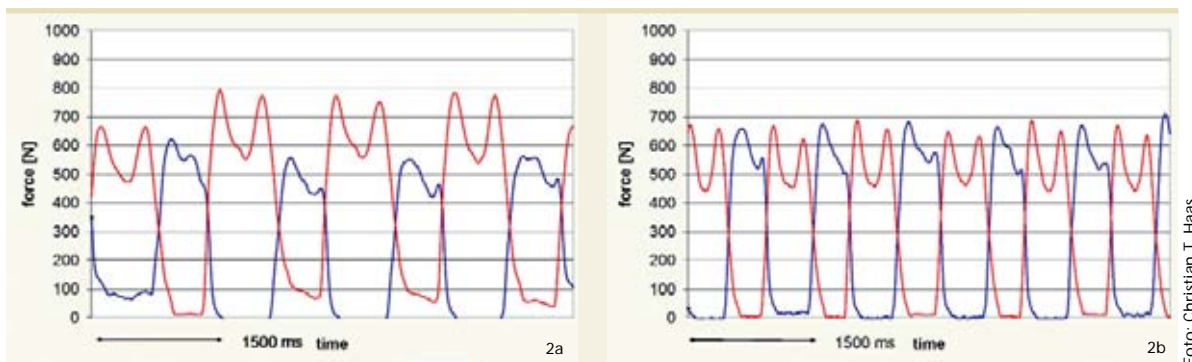


Foto: Christian T. Haas

Abb. 2_Bodenreaktionskraftverläufe (rechtes Bein / linkes Bein) eines Patienten mit inkompletter Rückenmarksverletzung während der Absolvierung eines laufbandgestützten Gangtests. Zu Beginn der Untersuchung zeigt sich ein asymmetrisches Verhalten (links). Nach 8 Trainingswochen (Mechano-Oszillationen mit Stochastischer Resonanz Funktion) kann eine weitgehend ausgeglichene Bodenreaktionskraftverteilung identifiziert werden. Wir nehmen an, dass diese Veränderung auf die Randomisierung des Signals zurückzuführen ist, wodurch beständige Rekalibrationsprozesse angeregt werden

abhängige Reduktion der Sensitivität für Vibrationsreize. Die Detektionsfähigkeit von Vibrationsreizen sehen die Autoren in einem **direkten Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit des Nervensystems.**

Bruyere et al (2005) untersuchten bei einer Gruppe von insgesamt 42 älteren Personen die Effekte eines zusätzlich zur normalen Physiotherapie durchgeführten Vibrationstrainings im Hinblick auf die Gleichgewichtsregulation, das Gangbild sowie die Lebensqualität. Nach einem sechswöchigen Training zeigten sich hochsignifikante Verbesserungen im Gangbild bei der Experimentalgruppe und keine Veränderungen in der Kontrollgruppe. Beim Gleichgewicht wies die Interventionsgruppe eine Verbesserung auf, im Gegensatz zu einer Verschlechterung in der Kontrollgruppe. In der Lebensqualität zeigte sich nur ein leichter Vorteil bei der Vibrationsgruppe.

In einem ähnlichen, allerdings längerfristigen (12 Monate) und auf drei Gruppen (Vibration, Fitness, Kontrolle) aufbauenden Untersuchungsdesign überprüften Bogaerts et al (2007) die Auswirkungen von diversen Übungen, die auf einer Vibrationsplatte durchgeführt wurden, auf posturale Kontrollmechanismen. Sowohl bei der Vibrationsgruppe als auch der Fitnessgruppe konnten geringere Fallneigungen bei visueller Störung in den Nachttests festgestellt werden. Zusätzlich zeigte sich in der Vibrationsgruppe ein besseres Kontrollverhalten bei Kippbewegungen der Messplattform. Rees et al (2007) überprüften die Effekte eines über zwei Monate je drei-

mal pro Woche durchgeführten Vibrationstrainings bei 43 älteren Personen hinsichtlich muskulärerer Leistungsfähigkeit und Mobilität. Die Vibrationsgruppe zeigte in den Ausgangstests im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant bessere Leistungen in der Beinkraft, dem »Sit-to-Stand« Test und dem 5 m-Gangtest, gleichwohl konnten ähnliche Leistungen auch in der konventionell trainierenden Gruppe identifiziert werden. In einer weiteren ähnlichen Untersuchung fanden die Autoren (Rees et al 2008) signifikant bessere Kraftleistungen bei der Plantarflexion zugunsten der Vibrationstrainingsgruppe. Keine Unterschiede zu einer konventionell trainierenden Gruppe waren bei Extensions- und Flexionstests in der Hüfte und im Kniegelenk zu finden.

Weiterführende Überlegungen

Analog zu dem breiten Resultatsspektrum im Hinblick auf die Wirksamkeit von Vibrationsreizen zur Entwicklung der motorischen Kraft bei gesunden Personen zeigen auch die Analysen mit therapeutischen Bezügen eine uneinheitliche Effektstruktur. **Da der größte Anteil der Untersuchungen allerdings positive Effekte von Vibrationstrainingsmaßnahmen identifizierte, die zumindest mit konventionellem Trainingsresultaten vergleichbar waren, kann man festhalten, dass Vibrationsreize therapeutisch wirksam eingesetzt werden können. >>>**

Das wesentliche Potenzial scheint darin zu liegen, bei schwerer beeinträchtigten Patienten mit Defiziten in der Detektionsfähigkeit, der sensorischen Integration und der muskulären Aktivierungsfähigkeit, neuronale und muskuläre Aktivität quasi extern zu generieren.

Bezug nehmend zu diesen neurophysiologischen Prozessen muss dem Phänomen der Stochastischen Resonanz (SR) – welches in biologischen Systemen weit verbreitet und gut evaluiert ist – entscheidende funktionale Bedeutung beigemessen werden (Gammaitoni et al 1998, Haas et al 2006b, Haas 2007). Beim Menschen ist dieses Phänomen deshalb von grundlegender Bedeutung, da dessen Nervenzellverbände ein natürliches stochastisches Verhalten aufweisen (Azouz & Gray 1999, Tougaard 2002). Wird nun ein schwaches Trägersignal auf den Menschen übertragen, so verbessert sich die Detektierbarkeit des Signals, wenn dieses ebenfalls stochastische Anteile (synonym: Rauschen, Noise) enthält. Der Funktionshintergrund besteht dabei in der Entstehung kurzfristiger konstruktiver Interferenzen (Quasi-Resonanz) zwischen beiden stochastischen Signalanteilen, mit der Folge von überschweligen neuronalen Aktivierungsstadien (Haas 2007). Eine solche Funktionalität lässt sich sowohl bei Simulationen in künstlichen neuronalen Netzen, in tierexperimentellen Designs als auch in Humanstudien identifizieren (Haas & Schmidbleicher 2006, Gammaitoni et al 1998, Fallon et al 2004, Fallon & Morgan 2005, Tougaard 2002, Ward et al 2002, Wells et al 2004). Liu et al (2002) sowie Khaodhiar et al (2003) identifizierten in Abhängigkeit von der jeweiligen Patientengruppe (älteren Personen, Schlaganfall, Neuropathie) eine um bis zu 34 Prozent bessere Detektionsfähigkeit für SR-Signale im Vergleich zu harmonischen Sinussignalen.

Bei rehabilitativen Zielstellungen sind SR-Effekte deshalb von Bedeutung, da überschwellige neuronale und muskuläre Aktivität generierbar ist, ohne energiereiche Signale und hohe Krafterwirkungen einsetzen zu müssen, welche bei längerfristig inaktiven Personen eine Kontraindikation darstellen könnte. Ferner fördert der Varianzanteil des stimulierenden Signals auch das Inter- und Extrapolationspotenzial (©_S. 722) des Patienten, da ent-

sprechende Referenzwerte generiert werden, welche für die Anpassung der neuromuskulären Aktion an neue Anforderungen von Bedeutung sind. Analoge Argumentationen finden sich ebenfalls bei Xiao et al (2002) oder Davids et al (2004). Bezug nehmend auf koordinative Anpassungen bei Personen mit orthopädischen Läsionen zeigten Ross (2007) bzw. Ross & Guskiewicz (2006), dass ein mit Rauschen überlagertes Training zu besseren posturalen Kontrollmechanismen führt als ein konventionelles Vorgehen.

Analog zu den unterschiedlichen Effekten verschiedener Frequenzbereiche ist auch die Interferenz von Rausch- beziehungsweise Randomisierungsanteilen nicht durch eine lineare Funktion – im Sinne von »je mehr Rauschen umso effektiver« – gekennzeichnet. Stattdessen müssen bestimmte und individuelle Relationen zwischen dem Trägersignal und den Rausch- beziehungsweise Randomisierungsanteilen (Signal-to-Noise Ratio [SNR]) bestehen, um eine optimale Reizkonfiguration herzustellen. Anspruchsvoll ist diese Zusammenstellung vor dem Hintergrund, dass das Nervensystem bei unterschiedlichen Krankheitsbildern ein unterschiedliches Maß an Hintergrundrauschen aufweist, dieses allerdings nicht einfach messbar ist (Li et al 2005). Zukünftig gilt es aufzuschlüsseln, in welcher Relation zeitliche und räumliche Variationen des Stimulus stehen müssen, um neuroplastische Prozesse in spezifischen Hirnarealen auszulösen (Haas 2007). Hinweise auf derartige Verknüpfungen gehen aus der Arbeit von Dreher und Grafmann (2002) hervor. So führen irreguläre Timinganforderungen vor allem zu Aktivitätserhöhungen im Zerebellum. Small et al (2002) und Saini et al (2004) stellten diesbezüglich fest, dass eine Erhöhung der zerebellaren Aktivität eine größere Neuroplastizität und ein besseres Reha-Outcome bei MS- und Schlaganfallpatienten sichert.

Schlussfolgerungen

Es ist schwierig, seriöse Pauschalaussagen zu den physiologischen Effekten von Vibrationsreizen zu treffen, ohne das Risiko von Fehlinterpretationen und damit verbundenen Verunsicherungen einzuge-

hen. Um die zukünftige Einordnung der physiologischen Effekte zu optimieren, erscheint es zwingend notwendig, jeweils die detaillierten Anwendungsbedingungen – welche Person wurde bei welcher Frequenz, Amplitude, über welchen Zeitraum und mit welcher Zielstellung trainiert beziehungsweise therapiert – nicht nur in wissenschaftlichen Publikationen mit anzuführen. Ferner liegt erhebliches Potenzial in der Verknüpfung verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen, wie es beispielsweise im Forschungsfeld der Stochastischen Resonanz der Fall ist (Gammaitoni et al 1998). ■

LITERATUR

- Cardinale M, Wakeling J. 2005. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 39, 9: 585-9
- Davids K, Shuttleworth R, Button C, Renshaw I, Glazier P. 2004. »Essential Noise« – enhancing variability of informational constraints benefits movement control: a comment on Wadlington and Adams (2003). *BJSM*, 2: 601-5
- Dupuis H, Zerlett G. 1984. Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen, Bonn: Schriftreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.
- Fallon JB, Carr RW, Morgan DL. 2004. Stochastic Resonance in Muscle Receptors. *J Neurophysiol*, 6: 2429-36
- Fallon JB, Morgan DL. 2005. Fully tuneable stochastic resonance in cutaneous receptors. *J Neurophysiol*, 2: 928-33
- Gammaitoni L, Hänggi P, Jung P, Marchesoni F. 1998. Stochastic Resonance. *Rev Mod Physics* 1: 224-87
- Griffin MJ. 1996. Handbook of human vibration. San Diego: Academic Press
- Haas CT, Turbanski S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. 2004. Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deut Zeitschr Sportmed*, 2: 34-43
- Haas CT, Turbanski S, Kessler K, Schmidtbleicher D. 2006a. The effects of random whole-body-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *Neurorehabil*, 1: 29-36
- Haas CT, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. 2006b. Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie u Gesundheitssport*, 2: 258-61
- Haas CT. 2007. Mechano-Oszillatorische Reizapplikation beim Menschen. Effekte – Funktionen – Anwendungen. Habilitationsschrift, Frankfurt am Main
- Haas CT, Schmidtbleicher D. 2007. Zum Einsatz von Vibrationsreizen in der Neurorehabilitation. *Psychologie in Österreich*, 4, 5: 388-95
- Hagbarth KE, Eklund G. 1966. Tonic vibration reflex (TVR) in spasticity. *Brain Res*, 2: 201-3
- Jordan MJ, Norris SR, Smith DJ, Herzog W. 2005. Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations. *J Strength Conditioning Res* 19,2: 459-66



LESEN SIE AUCH

LEHRE_WISSENSCHAFT VERSTEHEN

Stochastische Resonanz
_Tanja Bossmann, Seite 757

PRAXIS_WISSENSCHAFT TRANSFER

Training auf vibrierenden Platten
_Christian T. Haas, Seite 787

- Khaothiar L, Niemi JB, Earnest R, Lima C, Harry JD, Veves A. 2003. Enhancing Sensation in Diabetic Neuropathic Foot with mechanical Noise. *Diabetes Care*, 12: 3280-3
- Liu W, Lipsitz LA, Montero-Odasso M, et al. 2002. Noise-Enhanced Vibrotactile Sensitivity in Older Adults, Patients With Stroke, and Patients With Diabetic Neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil*, 2: 171-6
- Mansfield N. 2004. Human Response to Vibration. Boca Raton: CRC Press
- Matthews PB. 1966. The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to wrist tendon. *J Physio*, 2: 450-72
- Mester J, Kleinöder H, Yue Z. 2006. Vibrations Training: benefits and risks. *J Biomech* 39, 6: 1056-65
- Müller E, Löber E, Kruk M. 2003. Elektrostimulation und Whole Body Vibration: zwei erfolgreiche Krafttrainingsmethoden? *Leistungssport*, 4: 4-10
- Nordlund MM, Thorstensson A. 2007. Strength training effects of whole-body vibration? *Scan J of Med & Science in Sports* 17, 1: 12-7
- Rehn B, Lidström J, Skoglund J, Lindström B. 2007. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scan J Med Sci Sports* 17, 1: 2-11
- Ross SE, Guskiewicz KM. 2006. Effect of coordination training with and without stochastic resonance stimulation on dynamic postural stability of subjects with functional ankle instability and subjects with stable ankles. *Clin J Sport Med*, 4: 323-8
- Ross SE. 2007. Noise-enhanced postural stability in subjects with functional ankle instability. *Br J Sports Med*, 10: 656-9
- Schuhfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, Paternostro-Sluga T. 2005. Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clin Rehabil*, 8: 834-42
- Tougaard, J. 2002. Signal detection theory, detectability and stochastic resonance effects. *Biol Cybern*, 2: 79-90
- Turbanski S, Haas CT, Friedrich A, Duisberg P, Schmidtbleicher D. 2005. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Res Sports Med*, 3: 243-56
- Ward LW, Neiman A, Moss F. 2002. Stochastic resonance in psychophysics and in animal behavior. *Biol Cybernetics*, 2: 91-101
- Wells C, Ward LM, Chua R, Inglis JT. 2004. Touch Noise Increases Vibrotactile Sensitivity in Old and Young. *Psychol Science*, 4: 313-20
- Wellens T, Shatokhin V, Buchleitner A. 2004. Stochastic Resonance. *Rep Progr Physics*, 1: 45-105

>>>



CHRISTIAN T. HAAS

Privat-Dozent für Trainings- und Bewegungswissenschaften und Leiter der Forschungsgruppe Neurophysiologische Aspekte der Bewegungssteuerung und Rehabilitation am IFS der Goethe-Universität Frankfurt am Main, Member of the Scientific Board of the European Interdisciplinary Society for Clinical and Sports Application, Member of the Editorial Board of the OpenRehabilitation Journal, 2007 Habilitation zum Thema Mechano-Oszillatorische Reizapplikation beim Menschen.



KONTAKT

Priv.-Doz. Dr. Christian T. Haas
Institut für Sportwissenschaften
J.W. Goethe-Universität Frankfurt am Main
Ginnheimer Landstr. 39
60487 Frankfurt am Main
Fon: +49 (0) 69_798 245 23
E-Mail: c.haas@sport.uni-frankfurt.de



SENDEHINWEIS

NDR-Fernsehen
Das Gesundheitsmagazin Visite informiert am
Dienstag den 29. Juli 2008 ab 20.15 Uhr zum Thema
Vibrationstraining
www.ndr.de/visite

Vibrationstraining, Biomechanische Stimulation und Stochastische Resonanz Therapie¹

Eine interdisziplinäre Betrachtung präventiver und rehabilitativer Funktionen

Christian T. Haas

LITERATUR

- Ariizumi M, Okada A. 1983. Effect of whole body vibration on the rat brain content of serotonin and plasma corticosterone. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1: 15-9
- Ariizumi M, Okada A. 1985. Effect of whole body vibration on biogenic amines in rat brain. *Br J Ind Med*, 2: 133-6
- Ashburn A, Stack E, Pickering RM, Ward CD. 2001. A community dwelling sample of people with Parkinson's disease: characteristics of fallers and non-fallers. *Age Aging*, 1: 47-52
- Azouz R, Gray' CM. 1999. Cellular Mechanisms Contributing to Response Variability of Cortical Neurons In Vivo. *J Neurosci*, 19: 2209-23
- Bogaerts A, Verschuere S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S. 2007. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial. *Gait Posture* 26, 2: 309-16
- Bongiovanni LG, Hagbarth KE, Stjemberg L. 1998. Prolonged muscle vibration reducing motor unit output in maximal voluntary contractions in man. *J Physiol*, 4: 15-23
- Booth FW, Gordon SE, Carlson CJ, Hamilton MT. 2000. Waging war on modern chronic diseases: primary prevention through exercise biology. *J Appl Physiol*, 2: 774-87
- Booth FW, Criswell DS. 1997. Molecular events underlying Skeletal muscle atrophy and the development of effective countermeasures. *Int J Sports Med* 18: Suppl 4, S265-9
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O, Colli R, Tihanyi J, von Duvillard SP, Viru A. 1998. The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport*, 15: 157-64
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela D. 1999. Influence vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 6: 306-11
- van Bortel A. 1986. Differential effects of low-frequency depression, vibration-induced inhibition, and posttetanic potentiation on H-reflexes and tendon jerks in the human soleus muscle. *J Neurophysiol*, 3: 551-68
- Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richey F, Reginster JY. 2005. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil* 86, 2: 303-7
- Cardinale M, Wakeling J. 2005. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 39, 9: 585-9
- Cardinale M, Leiper J, Erskine J, Milroy M, Bell S. 2006. The acute effects of different whole body vibration amplitudes on the endocrine system of young healthy men: a preliminary study. *Clin Physiol Funct Imaging* 26,6: 380-4
- Cohen AD, Tillersson JL, Smith AD, Schallert T, Zigmond MJ. 2003. Neuroprotective effects of prior limb use in 6-hydroxydopamine-treated rats: possible role of GDNF. *J Neurochem*, 85: 299-305
- Cordo P, Gurfinkel VS, Bevan L, Kerr GK. 1995. Proprioceptive consequences of tendon vibration during movement. *J Neurophysiol*, 4: 1675-88
- Davids K, Shuttleworth R, Button C, Renshaw I, Glazier P. 2004. »Essential Noise« – enhancing variability of informational constraints benefits movement control: a comment on Waddington and Adams (2003). *BJSM*, 2: 601-5
- Deshpande N, Metter EJ, Ling S, Conwit R, Ferrucci L. 2008. Physiological correlates of age-related decline in vibrotactile sensitivity. *Neurobiol Aging* 29, 5: 765-73
- Diffie GM, Caiozzo VJ, Herrick RE, Baldwin KM. 1991. Contractile and biochemical properties of rat soleus and plantaris after hindlimb suspension. *Am J Physiol Cell Physiol*, 3: PT1, C528-34
- Dreher JC, Grafmann J. 2002. The roles of the cerebellum and basal ganglia in timing. The roles of the cerebellum and basal ganglia in timing and error prediction. *Eur J Neurosci*, 8: 1609-19
- Dupont-Versteegden EE, Houle JD, Gurley CM, Peterson CA. 1998. Early changes in muscle fiber size and gene expression in response to spinal cord transection and exercise. *Am J Physiol Cell Physiol*, 4: PT1, C1124-33
- Dupuis H, Zerlett G. 1984. Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen, Bonn: Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.
- Ebersbach G, Edler D, Kaufhold O, Wissel J. 2008. Whole body vibration versus conventional physiotherapy to improve balance and gait in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil* 89, 3: 399-403
- Edgerton VR, De Leon RD, Harkema SJ, Hodgson JA, London N, Reinkensmeyer DJ, Roy RR, Talmadge RJ, Tillakaratne NJ, Timoszyk W, Tobin A. 2001. Topical review: Retraining the injured spinal cord. *J Physiol*, 15: 15-22
- Erskine J, Smillie I, Leiper J, Ball D, Cardinale M. 2007. Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. *Clin Physiol Funct Imaging*. 27, 4: 242-8
- Fallon JB, Carr RW, Morgan DL. 2004. Stochastic Resonance in Muscle Receptors. *J Neurophysiol*, 6: 2429-36
- Fallon JB, Morgan DL. 2005. Fully tuneable stochastic resonance in cutaneous receptors. *J Neurophysiol*, 2: 928-33

- Feys P, Helsen WF, Verschueren S, Swinnen SP, Klok I, Lavrysen A, Nuttin B, Ketelaer P, Liu X. 2006. Online movement control in multiple sclerosis patients with tremor: effects of tendon vibration. *Mov Disord* 21, 8: 1148-53
- Fitts RH, Metzger JM, Riley DA, Unsworth BR. 1986. Models of disuse: a comparison of hindlimb suspension and immobilization. *J Appl Physiol*, 6: 1947-53
- Fitts RH, Riley DR, Widrick JJ. 2000. Physiology of a microgravity environment invited review: microgravity and skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 2: 823-39
- Gammaitoni L, Hänggi P, Jung P, Marchesoni F. 1998. Stochastic Resonance. *Rev Mod Physics* 1: 224-87
- Glass L. 2001. Synchronization and rhythmic processes in physiology. *Nature*. 8:410: 277-84
- Glatt E, Gassel M, Kaiser F. 2008. Noise-induced synchronisation in heterogeneous nets of neural elements-EPL (Europhysics Letters, iop.org). 81, 40004 (6pp)
- Gómez-Pinilla F, Ying Z, Roy RR, Molteni R, Edgerton VR. 2002. Voluntary Exercise Induces a BDNF-Mediated Mechanism That Promotes Neuroplasticity. *J Neurophysiol*, 5: 2187-95
- Griffin MJ. 1996. Handbook of human vibration. San Diego: Academic Press.
- Gurfinkel VS, Levik Yu S, Kazzenikov OV, Selionov VA. 1998. Locomotor-like movements evoked by leg muscle vibration in humans. *Eur J Neurosci*, 10: 1608-12
- Haas CT. 2002. Simulation und Regulation mechanischer Schwingungen im alpinen Skirennlauf. Köln: Sport & Buch Strauss
- Haas CT, Turbanski S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. 2004. Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deut Zeitschr Sportmed*, 2: 34-43
- Haas CT, Hochsprung A, Turbanski S, Santarossa C., Schmidtbleicher D. 2005. Neurorehabilitation via mechanischer Oszillationsreize. Publikationen zum Kongress der Deutschsprachigen-medizinischen Gesellschaft für Paraplegie, CD: 9 Seiten
- Haas CT, Turbanski S, Kessler K, Schmidtbleicher D. 2006a. The effects of random whole-body-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *Neurorehabil*, 1: 29-36
- Haas CT, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. 2006b. Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie u Gesundheitssport*, 2: 258-61
- Haas CT, Schmidtbleicher D. 2006. Neural and Biochemical Aspects in Rehabilitation Training. Proceedings of the 24th ISBS Congress: 311-4
- Haas CT. 2007. Mechano-Oszillatorische Reizapplikation beim Menschen. Effekte – Funktionen – Anwendungen. Habilitationsschrift, Frankfurt am Main
- Haas CT, Schmidtbleicher D. 2007. Zum Einsatz von Vibrationsreizen in der Neurorehabilitation. *Psychologie in Österreich*, 4, 5: 388-95
- Hagbarth KE, Eklund G. 1966. Tonic vibration reflex (TVR) in spasticity. *Brain Res*, 2: 201-3
- Hagbarth KE, Hellsing G, Lofstedt L. 1976. TVR and vibration induced timing of motor impulses in the human jaw elevator muscles. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 8: 719-28
- Haken H. 1983. Synergetics, an introduction: Non-equilibrium phase transitions and self organisation in physics, chemistry and biology. Berlin: Springer
- Halford GS, Wilson WH, Phillips S. 1998. Processing capacity defined by relational complexity: implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behav Brain Sci*, 6: 803-31
- Hutchison KJ, Gomez-Pinilla F, Crowe MJ, Ying Z, Basso DM. 2004. Three exercise paradigms differentially improve sensory recovery after spinal cord contusion in rats. *Brain*, 6: 1403-14
- Issurin VB, Liebermann DG, Tenebaum G. 1994. Effects of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J of Sports Sci*, 12: 561-6
- Ivanenko YP, Grasso R, Lacquaniti F. 2000a. Neck muscle vibration makes walking humans accelerate in the direction of gaze. *J Physiol*, 3: 803-14
- Ivanenko YP, Grasso R, Lacquaniti F. 2000b. Influence of leg muscle vibration on human walking. *J Neurophysiol*, 4: 1737-47
- Jöbges EM, Elek J, Rollnik JD, Dengler R, Wolf W. 2002. Vibratory proprioceptive stimulation affects Parkinson tremor. *Parkinsonism Relat Disord*, 8: 171-6
- Jordan MJ, Norris SR, Smith DJ, Herzog W. 2005. Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations. *J Strength Conditioning Res* 19,2: 459-66
- Karlsen KH, Tandberg E, Arsland D, Larsen JP. 2000. Health related quality of life in Parkinson's Disease: a prospective longitudinal study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 5: 584-9
- Khaodhjar L, Niemi JB, Earnest R, Lima C, Harry JD, Veves A. 2003. Enhancing Sensation in Diabetic Neuropathic Foot with mechanical Noise. *Diabetes Care*, 12: 3280-3
- Khudados E, Cody FWJ, O'Boyle DJ. 1999. Proprioceptive regulation of voluntary ankle movements, demonstrated using muscle vibration is impaired by Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 67, 10: 504-10
- Künemeyer J, Schmidtbleicher D. 1997. Beeinflussung der Reaktivität durch die rhythmische neuromuskuläre Stimulation (RNS). *Sportverl Sportschad*, 11: 39-42
- Kvorning T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K. 2006. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol* 96, 5: 615-25
- Linkenkaer-Hansen K, Nikulin VV, Palva S, Ilmoniemi RJ, Palva JM. 2004a. Prestimulus oscillations enhance psychophysical performance in humans. *J Neurosci* 24, 10: 10186-90
- Linkenkaer-Hansen K, Nikulin VV, Palva JM, Kaila K, Ilmoniemi RJ. 2004b. Stimulus-induced change in long-range temporal correlations and scaling behaviour of sensorimotor oscillations. *Eur J Neurosci* 19, 1: 203-11
- Li S-C, von Oertzen T, Lindberger U. 2005. A neurocomputational Model of stochastic Resonance and ageing. *Neurocomputing*, 15: 1553-60
- Liu W, Lipsitz LA, Montero-Odasso M, et al. 2002. Noise-Enhanced Vibrotactile Sensitivity in Older Adults, Patients With Stroke, and Patients With Diabetic Neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil*, 2: 171-6
- Lu B. 2003. BDNF and Activity-Dependent Synaptic Modulation. *Learning & Memory*, 10: 86-98
- Löberbauer E, Zallinger G, Müller E. 2003. Whole body vibration and training. Proceedings of 8th annual congress of ECSS: 218
- Mansfield N. 2004. Human Response to Vibration. Boca Raton: CRC Press

- Matthews PB. 1966. The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to wrist tendon. *J Physiol*, 2: 450-72
- Mattson MP, Magnus T. 2006. Ageing and neuronal vulnerability. *Nature Reviews*, 7: 278-94
- Mester J, Kleinöder H, Yue Z. 2006. Vibrations Training: benefits and risks. *J Biomech* 39, 6: 1056-65
- McCall GE, Grindeland RE, Roy RR, Edgerton VR. 2000. Muscle afferent activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *J Appl Physiol*, 3: 1137-41
- Molteni R, Wu A, Vaynman S, Ying Z, Barnard RJ, Gomez-Pinilla F. 2004. Exercise reverses the harmful effects of consumption of a high-fat diet on synaptic and behavioral plasticity associated to the action of brain-derived neurotrophic factor. *Neurosci* 123, 2: 429-40
- Müller E, Löber E, Kruk M. 2003. Elektrostimulation und Whole Body Vibration: zwei erfolgreiche Krafttrainingsmethoden? *Leistungssport*, 4: 4-10
- Nakamura H, Moroji T, Nohara S, Nakamura H, Okada A. 1992. Activation of cerebral dopaminergic systems by noise and whole-body vibration. *Environ Res*, 2: Abstract
- Nakamura H, Moroji T, Nagase H, Okazawa T, Okada A. 1994. Changes of cerebral vasoactive intestinal polypeptide- and somatostatin-like immunoreactivity induced by noise and whole-body vibration in the rat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1: 62-7
- Nelson AJ, Staines WR, McIlroy WE. 2004. Tactile stimulus predictability modulates activity in a tactile-motor cortical network. *Exp Brain Res* 1: 22-32
- Nordlund MM, Thorstensson A. 2007. Strength training effects of whole-body vibration? *Scan J of Med & Science in Sports* 17, 1: 12-7
- Otis JS, Roy RR, Edgerton VR, Talmadge RJ. 2004. Adaptations in metabolic capacity of rat soleus after paralysis. *J Appl Physiol*, 2: 584-96
- Palmer KT, Griffin MJ, Syddall HE, Pannett B, Cooper C, Coggon D. 2002. Raynaud's phenomenon, vibration induced white finger, and difficulties in hearing. *Occup Environ Med*, 9: 640-2
- Pearson KG. 2000. Neural Adaptation in the generation of rhythmic behavior. *Annu Rev Physiol* 62: 723-53
- Pearson KG. 2001. Could enhanced reflex function contribute to improving locomotion after spinal cord repair? *J Physiol*, 1: 75-81
- Prätorius B, Kimmeskamp S, Milani T.L. 2003. The sensitivity of the sole of the foot in patients with Morbus Parkinson. *Neurosci Lett* 7, 3: 173-6
- Rafael GM. 2004. El extraño caso del Dr. Parkinson. Granada: Grupo Editorial Universitario
- Rees S, Murphy A, Watsford M. 2007. Effects of vibration exercise on muscle performance and mobility in an older population. *J Aging Phys Act* 15, 4: 367-81
- Rees S, Murphy AJ, Watsford ML. 2008. Effects of whole-body vibration exercise on lower-extremity muscle strength and power in an older population: a randomized clinical trial. *Phys Ther* 88, 4: 462-70
- Rehn B, Lidström J, Skoglund J, Lindström B. 2007. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scan J Med Sci Sports* 17, 1: 2-11
- Rickards C, Cody FWJ. 1997. Proprioceptive control of wrist movements in Parkinson's disease. *Brain* 120: 977-90
- Ross SE, Guskiewicz KM. 2006. Effect of coordination training with and without stochastic resonance stimulation on dynamic postural stability of subjects with functional ankle instability and subjects with stable ankles. *Clin J Sport Med*, 4: 323-8
- Ross SE. 2007. Noise-enhanced postural stability in subjects with functional ankle instability. *Br J Sports Med*, 10: 656-9
- Roy RR, Baldwin KM, Edgerton VR. 1991. The plasticity of skeletal muscle: effects of neuromuscular activity. *Exerc Sport Sci Rev*, 19: 269-312
- de Ruiter CJ, van der Linden RM, van der Zijden MJA, Hollander AP, de Haan A. 2003. Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *Eur J App Physiol*, 4-5: 472-5
- Russo-Neustadt A, Beard RC, Cotman CW. 1999. Exercise, Antidepressant Medications, and Enhanced Brain Derived Neurotrophic Factor Expression. *Neuropsychopharmacol*, 5: 679-82
- Saini S, De Stefano N, Smith S, Guidi L, Amato MP, Federico A, Matthews PM. 2004. Altered cerebellar functional connectivity mediates potential adaptive plasticity in patients with multiple sclerosis. *J Neurol, Neurosurg Psychiatry*, 6: 840-6
- Schindler I, Kerkhoff G, Karnath HO, Keller I, Goldenberg G. 2002. Neck muscle vibration induces lasting recovery in spatial neglect. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 73, 4: 412-9
- Schöllhorn WI. 1998. Systemdynamische Betrachtung komplexer Bewegungsmuster im Lernprozess. Habilitationsschrift, Frankfurt: Lang
- Schöllhorn WI. 1999. Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport*, 2: 5-12
- Schrag A, Jahanshahi M, Quinn N. 2000. What contributes to quality of life in patients with Parkinson's disease? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1: 308-12
- Schlumberger A, Salin D, Schmidtbleicher D. 2001. Krafttraining unter Vibrationseinwirkung. *Sportverl Sportschad*, 15: 1-7
- Schuhfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, Paternostro-Sluga T. 2005. Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clin Rehabil*, 8: 834-42
- Schultz W. 1998. Predictive reward signal of dopamine neurons. *J Neurophys*, 1: 1-27
- Small SJ, Hustik P, Noll DC. 2002. Cerebellar hemispheric activation ipsilateral to the paretic hand correlates with functional recovery after stroke. *Brain*, 7: 1544-57
- Smiley-Oyen AL, Cheng HY, Latt LD, Redfern MS. 2002. Adaptation of vibration-induced postural sway in individuals with Parkinson's disease. *Gait Posture* 16, 2: 188-97
- Spitzenpfeil P, Schwarzer J, Fiala M, Mester J. 1999. Strength training with whole-body vibrations. Single case studies and time series analysis. Proceedings of the 4th Annual Congress of the European College of Sport Science: 613
- Stevens L, Mounier Y, Holy X. 1993. Functional adaptation of different rat skeletal muscles to weightlessness. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol*, 4: R770-6
- Steyvers M, Levin O, Verschueren SM, Swinnen S.P. 2003. Frequency-dependent effects of muscle tendon vibration on corticospinal excitability: a TMS study. *Exp Brain Res*, 1: 9-14
- The BDNF study group. 1999. A controlled trial of recombinant methionyl human BDNF in ALS. *Neurology* 52: 1427-33

- Tihanyi TK, Horváth M, Fazekas G, Hortobágyi T, Tihanyi J. 2007. One session of whole body vibration increases voluntary muscle strength transiently in patients with stroke. *Clin Rehabil* 21, 9: 782-93
- Tillerson JL, Cohen AD, Caudle WM, Zigmund MJ, Schallert T, Miller GW. 2002. Forced Nonuse in Unilateral Parkinsonian Rats Exacerbates Injury. *J Neurosci*, 22: 6790-9
- Tougaard, J. 2002. Signal detection theory, detectability and stochastic resonance effects. *Biol Cybern*, 2: 79-90
- Turbanski S, Haas CT, Friedrich A, Duisberg P, Schmidtbleicher D. 2005. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Res Sports Med*, 3: 243-56
- Turbanski S. 2006. Zur posturalen Kontrolle bei Morbus Parkinson: biomechanische Diagnose und Training. Dissertation, Frankfurt
- Van de Crommert HWAA, Mulder T, Duysens J. 1998. Neural control of locomotion; Part 2: sensory control of the central pattern generator and its relation to treadmill training. *Gait Posture*, 7: 251-61
- Vaynman S, Gomez-Pinilla F. 2005. License to Run: Exercise Impacts Functional Plasticity in the Intact and Injured Central Nervous System by Using Neurotrophins. *Neurorehabil Neural Repair*, 4: 283-95
- Verschueren SMP, Swinnen SP, Cordo PJ, Dounskaia NV. 1999a. Proprioceptive control of multijoint movement: unimanual circle drawing. *Exp Brain Res*, 2: 171-81
- Verschueren SMP, Swinnen SP, Cordo PJ, Dounskaia NV. 1999b. Proprioceptive control of multijoint movement: bimanual circle drawing. *Exp Brain Res*, 2: 182-92
- Verschueren SMP, Swinnen SP, Desloovere K, Duysens J. 2003. Vibration-induced changes in EMG during Human Locomotion. *J Neurophysiol*, 3: 1299-307
- Ward LW, Neiman A, Moss F. 2002. Stochastic resonance in psychophysics and in animal behavior. *Biol Cybernetics*, 2: 91-101
- Wells C, Ward LM, Chua R, Inglis JT. 2004. Touch Noise Increases Vibrotactile Sensitivity in Old and Young. *Psychol Science*, 4: 313-20
- Wellens T, Shatokhin V, Buchleitner A. 2004. Stochastic Resonance. *Rep Progr Physics*, 1: 45-105
- Widrick JJ, Romatowski JG, Norenberg KM, Knuth ST, Bain JLW, Riley DA, Trappe SW, Trappe TA, Costill DLRH, Fitts RH. 2001. Functional properties of slow and fast gastrocnemius muscle fibers after a 17-day spaceflight. *J Appl Physiol*, 6: 2203-11
- Winiarski AM, Roy RR, Alford EK, Chiang PC, Edgerton VR. 1987. Mechanical properties of rat skeletal muscle after hind limb suspension. *Exp Neurol*, 3: 650-60
- Yamaguchi Y. 1985. The response of monoamines in the rat brain to local vibration exposure. *Sangyo Igaku*, 2: Abstract
- Xiao J, Hu G, Liu H, Zhang Y. 1998. Frequency sensitive stochastic resonance in periodically forced and globally coupled systems. *Eur Phys J*, B 5: 133-8
- Ying Z, Roy RR, Edgerton VR, Gomez-Pinilla F. 2005. Exercise restores levels of neurotrophins and synaptic plasticity following spinal cord injury. *Exp Neurol*, 193, 2: 411-9

Stochastische Resonanz

Zufällige Fluktuationen können schwache Signale verstärken **Tanja Bossmann**

Während wir im Radio kein Rauschen hören wollen, scheinen biologische Systeme von störenden Einflüssen zu profitieren. Christian T. Haas gibt im narrativen Review ab Seite 728 einen Überblick über die physiologischen Effekte und rehabilitativen Potenziale von Vibrationsreizen, die mit Rausch-einflüssen überlagert werden. Er stellt dar, dass die **Variabilität des Grundsignals** dabei eine wichtige Rolle spielt. Das Phänomen der Stochastischen Resonanz (SR) ist in vielen Bereichen bekannt – zum Beispiel in Physik, Elektrotechnik, Biologie und Medizin – und hat im Hinblick auf die Wirksamkeit von Vibrationsreizen eine entscheidende Bedeutung. Doch warum sind **unterschwellige Oszillationen mit Störeinflüssen besser geeignet als harmonische Schwingungen?**

Das Phänomen beruht auf drei Elementen

Die Stochastische Resonanz geht ursprünglich auf die Berechnung der Periode-dauer von Eiszeiten in den 80er Jahren durch den Geophysiker Roberto Benzi zurück (Benzi et al 1981, Haas et al 2006) und findet mittlerweile in vielen wissenschaftlichen Disziplinen Beachtung. In der Literatur sind dabei drei entscheidende **Aspekte** für das Phänomen **der Stochastischen Resonanz** beschrieben:

- **Rauschen (Noise)**
- Vorhandensein eines **unterschweligen Signals**
- **Nichtlinearität**, das bedeutet, es gibt eine Schwelle

Peter Hänggi, Professor am Institut für Physik an der Universität Augsburg, erklärt das Phänomen der Stochastischen Resonanz bildhaft anhand eines ganz einfachen Beispiels: Man stelle sich eine Murmel vor, die in einer der Mulden eines Eierkartons liegt. Wird die Murmel behutsam und gleichförmig geschaukelt, kann sie die Schwelle zur angrenzenden Vertiefung im Eierkarton nicht überwinden. Kommt jedoch ein zufälliges Rütteln hinzu, so kann es passieren, dass die Murmel plötzlich in die nächste Mulde rollt – die gleichförmige, unterschwellige oszillierende Kraft wird sozusagen von dem zufälligen Schub überlagert.

Üblicherweise gehen wir davon aus, dass ein System umso besser funktio-

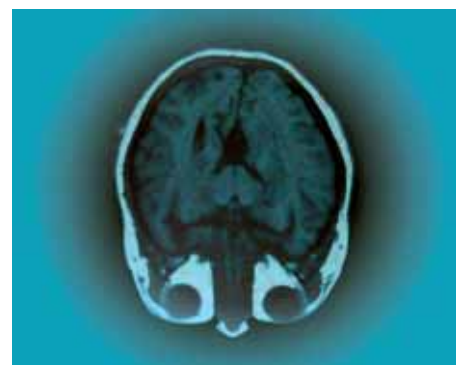


Foto: pixelio.de

Nervenzellen besitzen Schwellwert-Funktionalität und Nervenzellverbände weisen ein natürliches stochastisches Verhalten auf – dies sind wichtige physiologische Grundlagen für das Verständnis des Phänomens der Stochastischen Resonanz

niert, je weniger Störquellen vorhanden sind. Ein Rauschen im Radio ist für uns ein negatives Zeichen. Dies ist interessanterweise bei dynamischen nicht linearen Systemen anders. Hier kann die Funktionalität durch Rauschen sogar noch erheblich verbessert werden. Stochastische Resonanz beschreibt unabhängig von der jeweiligen Disziplin das Verhalten von Systemen, die mehrere Inputs und Funktionsschwellen besitzen – ein Beispiel dafür ist das menschliche Nervensystem (Haas et al 2006).

Nervenzellen besitzen Schwellwert-Funktionalität

Die Basis für das Verständnis dieses Phänomens beim Menschen ist die Tatsache, dass Nervenzellen nach dem Alles-oder-Nichts-Gesetz funktionieren. >>>

Sobald das Ruhepotenzial zum Schwellenpotenzial von etwa -50 mV depolarisiert wird, entsteht ein Aktionspotenzial. Darüber hinaus stellt Christian T. Haas in seiner Übersichtsarbeit in dieser Ausgabe dar, dass die **Nervenzellverbände des Menschen ein natürliches stochastisches, also zufälliges, Verhalten aufweisen. Wird nun ein schwaches Signal mit ebenfalls stochastischen Anteilen auf den Menschen übertragen, entstehen kurzfristig Interferenzen – Überlagerungen – und können so zur Überschreitung der für die Entstehung eines Aktionspotenzials nötigen Schwelle führen. Ein ansonsten unterschwelliger Reiz wird so besser wahrnehmbar.**

Der stochastische Charakter ist von Bedeutung, da Nervenzellen sich sehr gut an konstante Reize anpassen. Dies wird im Alltag zum Beispiel bei der Kleidung deutlich, die man kaum mehr auf der Haut wahrnimmt. Sind die Signale jedoch von einem Rauschen mit zufälligem Charakter überlagert, können Nervenzellen nicht adaptieren und sind daher ständig neuen Reizen ausgesetzt. Anhand eines Nervenzellmodells stellen Haas et al (2006) die unterschiedlichen Wirkungen von Sinus- und SR-Signalen

bei ansonsten gleicher Grundamplitude anschaulich dar. Die Stimulation mit gleichförmigen Sinussignalen führt lediglich zu Aktivierungszuständen unterhalb der Entladungsschwelle. Ein SR-Reiz führt jedoch zu mehreren überschwelligeren Aktivitäten und damit zur Generierung von Aktionspotenzialen. Auf Mikroebene stehen Reize mit SR-Charakter in Zusammenhang mit der Freisetzung neurotropher Faktoren sowie der Anregung des Knochenwachstums.

Auch wenn Vibrationsreize Auswirkungen auf multiplen biologischen Ebenen hervorrufen und die Effekte nicht pauschal beurteilt werden können, scheint das Phänomen der Stochastischen Resonanz doch eine entscheidende Rolle für die Wirksamkeit zu spielen. -

LITERATUR

- Benzi R, Sutera A, Vulpiani A. 1981. The mechanism of stochastic resonance. *J Phys A Mathemat Gen* 14: L453-7
- Haas CT, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. 2006. Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie u Gesundheitssport* 2: 258-61

Haas CT, Turbanski S, Schmidtbleicher D. 2004. Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55, 2: 34-43

Hänggi P. 2001. Stochastische Resonanz: Rauschen macht sensibel. *Physikalische Blätter* 57,1: 15-6

Harry JD, Niemi JB, Priplata AA, Collins JJ. 2005. Balancing act. *IEEE Spectrum* 4: 36-41

Moss F, Ward LM, Sannita WG. 2004: Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application. *Clinical Neurophysiology* 115: 267-81

Dudel J. 2000. *Informationsvermittlung durch elektrische Erregung*. In *Physiologie des Menschen*. ed. RF Schmidt, G Thews, F Lang. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag



LESEN SIE AUCH

WISSENSCHAFT_NARRATIVER REVIEW

Vibrationstraining, Biomechanische Stimulation und Stochastische Resonanz Therapie_Christian T. Haas, Seite 728

PRAXIS_WISSENSCHAFT TRANSFER

Training auf vibrierenden Platten _Christian T. Haas, Seite 787

Training auf vibrierenden Platten

Praktische Hinweise für den Einsatz von Vibrationsreizen in der Therapie **Christian T. Haas**

Wie aus dem narrativen Review auf Seite 728 hervorgeht, können sich die physiologischen Wirkungen von Vibrationsreizen in Abhängigkeit von den Stimulationsparametern erheblich unterscheiden. Je nach Art, Dauer und Ort der Reizapplikation ist es jedoch möglich, degenerativen Erscheinungen entgegen zu wirken und funktionale Bewegungsmuster wiederherzustellen. Reize mit stochastischer Charakteristik bieten gegenüber harmonischen Signalen den Vorteil, dass nur geringe mechanische Reizintensitäten notwendig sind, um die entsprechenden sensorischen und neuromuskulären Wirkungen hervorzurufen. Dadurch ist diese Art des Trainings auch für ältere Personen und Patienten mit ausgeprägten Bewegungsstörungen geeignet und auch nach längeren motorischen Inaktivitätsphasen gut durchführbar. Die nachfolgenden Hinweise erheben keinen Absolutheitsanspruch, können aber für die Arbeit in der Praxis sehr hilfreich sein.

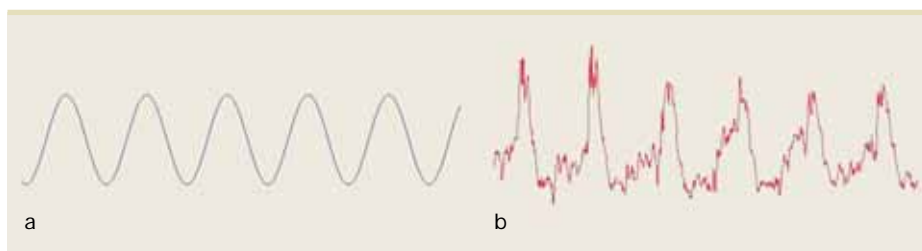


Foto: Christian T. Haas

Abb. 1 Exemplarische Darstellung einer harmonischen Sinusschwingung (a) und einer mit stochastischen und randomisierten Anteilen überlagerten Schwingung (b). Letztere bilden die Voraussetzungen für die Entstehung einer Stochastischen Resonanz

Trainingsparameter

Die Übertragung von Vibrationen auf den Menschen stellt einen großen Stimulus für verschiedene Sensorsysteme dar und kann intensive reflektorische muskuläre Aktivierungen mit sich bringen. Um eine Ermüdung des Nervensystems zu vermeiden, sollten jeweils nur wenige Reizserien (3 bis 7) von kurzer Dauer (30 bis 90 sec) durchgeführt werden.

Die Applikation von Vibrationsreizen kann zur Auslösung muskulärer Reflexantworten in schneller Abfolge führen. Da dieses muskuläre Aktionsmuster unwillkürlich erfolgt, ist die Beurteilung der jeweiligen Beanspruchung und möglichen Ermüdungsreaktionen häufig schwierig. Insbesondere bei Personen, die über einen längeren Zeitraum inaktiv waren, ist zu Beginn eines derartigen Trainings darauf zu achten, dass nur wenige Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt werden. Unter bestimmten Bedingungen kann bereits eine Trai-

ningseinheit pro Woche ausreichen. Der jeweilige Stimulus sollte darüber hinaus ein gewisses Maß an Varianz, also Randomisierungs- sowie Rauscheinflüsse aufweisen, um einerseits Habituationsphänomene zu vermeiden und andererseits die Detektionsfähigkeit sowie das Inter- und Extrapolationsvermögen (S. 722) zu optimieren (Abb. 1). Die chronische Applikation hochfrequenter Vibrationsreize sollte aus Gründen einer möglichen Desensibilisierung des Nervensystems vermieden werden.

Positionierung des Patienten

Die Übertragung von Schwingungsenergie auf den Kopf ist weitestgehend zu vermeiden, um das Risiko von Schädigungen zum Beispiel des visuellen Systems oder des Gehirns zu minimieren. Um dies sicherzustellen, sollte die Trainingsposition durch leicht gebeugte Gelenke gekennzeichnet sein. Kleine Variationen der Ausgangsstel- >>>



Abb. 2_Wenn ein Abstützen notwendig ist, sollte dies nicht am Geländer, sondern am Therapeuten erfolgen

Foto: Christian T. Haas

ständig zu tragen. In diesen Fällen kann der Behandler durch geeignete Positionierung einen Teil der Last abnehmen (Abb. 3). Dies verleitet allerdings unter Umständen dazu, dass der Patient eine passive Sitzposition einnimmt. Eine Möglichkeit dem entgegen zu wirken ist, dass der Therapeut seine Stützfunktion beständig variiert.

Variationen sind wichtig!

Der Aufmerksamkeitsfokus des Trainierenden sollte nicht auf die vibrierende Plattform gerichtet sein. Stattdessen ist



Abb. 3_Der Therapeut kann eine Stützfunktion übernehmen, wenn der Patient nicht in der Lage ist, sein Körpergewicht vollständig selbst zu tragen

Foto: Christian T. Haas

oder eng fassen – und dynamisch – mehr oder weniger Druck zulassen – zu variieren. Auf diese Weise werden Habituationen vermieden und sensorische Rekalibrations- und Integrationsprozesse gefördert.

Bei verschiedenen Krankheitsbildern hat der Therapeut zu berücksichtigen, dass der Patient nicht in der Lage ist, ausreichend muskuläre Aktivität zu generieren, um sein Körpergewicht selbst-

lung können mit einfließen. Die Einnahme einer sitzenden oder liegenden Position auf einer Vibrationsplattform ist risikoreich und nur in gut begründeten Ausnahmefällen als Therapiemaßnahme geeignet.

Der Kontakt zwischen einem Geländer und den Händen des Trainierenden sollte weitestgehend vermieden werden, da sich durch derartige Krafteinwirkungen das Reflexmuster verändern kann. Falls doch ein Abstützen notwendig ist, sollte dies nicht am starren Geländer, sondern eher an den Armen oder Händen des Therapeuten erfolgen (Abb. 2). Der Therapeut kann seinerseits versuchen das Abstützen des Patienten räumlich – weit



Abb. 4_ Die Bindung der Aufmerksamkeit an eine zweite Aufgabe (manuelle Koordination) fördert die Entwicklung automatisierter, reflektorischer Abläufe

Foto: Christian T. Haas



Abb. 5_Die Variation der Fußposition kann die Reizcharakteristik beeinflussen

Fotos: Christian T. Haas

die Bindung der Aufmerksamkeit an eine zweite Aufgabe sinnvoll.

Hier eignet sich beispielsweise das Balancieren eines Gegenstandes mit den Händen (Abb. 4). Falls die Hände zum Abstützen notwendig sind, können alternativ auch andere, zum Beispiel kognitive Aufgaben gestellt werden. Der Einsatz von Zusatzlasten wie Hanteln ist nur in wenigen Fällen sinnvoll und ist – wenn überhaupt – sehr dosiert einzusetzen.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Trainingsgerät kann durch die Variation der Fußposition eine Veränderung der Reizcharakteristik sowie der Schwingungsübertragung die Folge sein (Abb. 5). In zahlreichen Fällen sind derartige Variationen empfehlenswert.

Ein Training auf der Basis von Vibrationsreizen sollte nicht unabhängig von

anderen Interventionsmaßnahmen gestaltet werden. Vielmehr ist die Berücksichtigung von Wechselwirkungen zentral bedeutsam. In zahlreichen Fällen bietet es sich an, die **Therapie mit der Applikation von Vibrationsreizen einzuleiten und nachfolgend mit anderen Trainingsmaßnahmen – zum Beispiel Gangtraining – zu erweitern.** -

LITERATUR

- Haas CT, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidtbleicher D. 2006. Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie u Gesundheitssport* 2: 258-61
- Haas CT, Turbanski S, Schmidtbleicher D. 2004. Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55, 2: 34-43



LESER FEEDBACK

Über Kritik und Anregungen würde ich mich sehr freuen:

c.haas@sport.uni-frankfurt.de



LESEN SIE AUCH

WISSENSCHAFT_NARRATIVER REVIEW

Vibrationstraining, Biomechanische Stimulation und Stochastische Resonanz Therapie
_Christian T. Haas, Seite 728

LEHRE_WISSENSCHAFT VERSTEHEN

Stochastische Resonanz
_Tanja Bossmann, Seite 757