

Wie gezielte Unordnung im Training für Ordnung in der Bewegung sorgt

Zufällige Schwingungen wirken auf Muskel- und Nervenzellen ein



Patient mit Rückenmarksschädigung beim Stochastischen Resonanz-Training: Nach einem Verkehrsunfall 2003 ist Jens Maspfuhl querschnittgelähmt. 2005 nahm er an dem Forschungsprojekt in Frankfurt teil und trainiert seitdem regelmäßig mit Stochastischen Resonanz-Reizen. Dabei werden niederfrequente Vibrationen, meist vier bis acht Hertz, mit zufälligen (stochastischen) Störgrößen überlagert und über zwei Fußplatten auf den Menschen übertragen.

Seit über zehn Jahren werden am Institut für Sportwissenschaften die Auswirkungen von Vibrationen auf die Bewegungssteuerung des Menschen erforscht. Das Team um Dr. Christian Haas und Prof. Dietmar Schmidtbleicher fand dabei ein weites Funktionsspektrum mit physiologisch positiven, aber auch negativen Effekten. So können gleichförmige hochfrequente Vibrationen zu Wahrnehmungsstörungen führen oder einen Verlust der Reflextätigkeit bewirken. Andererseits verbessert ein Training mit variablen Vibrationsreizen, so genannten »Stochastischen Resonanzen«, die Koordination. Diese ständig wechselnden Reize trainieren das Zusammenspiel zwischen Sensoren, Gehirn und Muskulatur und bewirken effizientere, an die jeweilige Anforderungssituation angepasste Bewegungsabläufe. Interessanterweise zeigen sich diese Effekte sowohl bei Hochleistungsathleten als auch bei Patienten mit Bewegungsstörungen.

von Christian T. Haas,
Stephan Turbanski,
Dietmar Schmidtbleicher



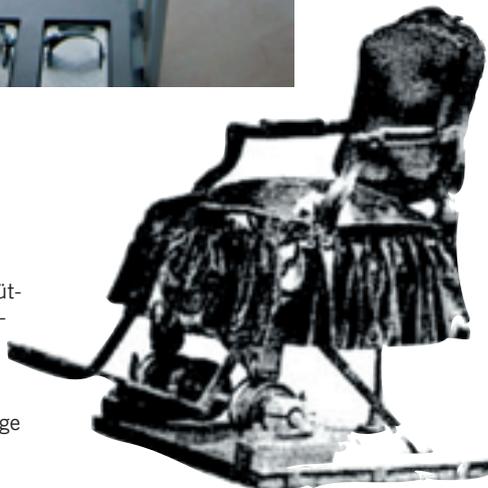
Der österreichische Abfahrtsläufer Hermann Maier im Vorbereitungstraining auf die Weltmeisterschaften mit Unterstützung der Frankfurter Sportwissenschaftler und Stochastischen Resonanz-Reizen.

Dieses Prinzip des Stochastischen Resonanz-Trainings (SRT) steht im Gegensatz zum üblichen Verständnis von Mechanismen der Bewegungssteuerung. So wird meist versucht, keine Störungen zuzulassen und unvorhersehbare Einflüsse so gering wie möglich zu halten. Im Training kann ein gewisser Grad an gezielten Störeinflüssen jedoch dazu beitragen, dass Bewegungsstörungen im Alltag vermindert werden.

»Wirken Vibrationen auf einen Menschen ein – ein aktives, dynamisches, komplexes und intelligentes System – so kann man nicht erwarten, dass man nur einen einzelnen oder einfachen und leicht vorhersehbaren Effekt vorfindet.« (Griffin 1996, Handbook of Human Vibration, 1)



Besuch des Brasilianischen Nationalteams: Vertreter des brasilianischen Fussball-Nationalteams lassen sich während der Fußball-Weltmeisterschaft in Frankfurt beraten, um mit dem Stochastischen Resonanz-Training Verletzungsrisiko und -folgen zu minimieren.



1 Charcots Therapeutischer Rüttelstuhl: »Charcots chaise trepidante« zur Therapie von Parkinson-Symptomen: Diesen Rüttelstuhl hatte der französische Neurophysiologe Jean Marie Charcot bereits im 19. Jahrhundert entwickelt.

Vibrationen, auch als mechanische Schwingungen bezeichnet, sind in der modernen Industriegesellschaft ein beständiger Begleiter des Menschen: In der Straßenbahn oder im Zug werden wir permanent durchgeschüttelt, und wir spüren die Vibration, wenn wir mit Bohrmaschine oder Schwingschleifer arbeiten. Aber auch bei sportlichen Aktivitäten wie beim Mountainbike- oder Skifahren ist unser Körper zum Teil erheblichen mechanischen Schwingungen und Stoßbelastungen ausgesetzt und muss versuchen, diese möglichst wirksam zu dämpfen. Vibrationen lösen generell eine Vielzahl von Prozessen auf unterschiedlichen Ebenen des menschlichen Körpers aus: Reaktionen und Anpassungen reichen von der sensorischen und muskulären

Ebene, über Hormon- und Neurotransmittersysteme bis zur Aktivierung von Hirnarealen. Neben diesen vielfältigen Effekten und Reaktionsmöglichkeiten wird das Forschungsfeld auch dadurch interessant, dass verschiedene Menschen bei gleicher Vibrationsstimulation unterschiedliche Reaktionen aufweisen können. Erklärbar ist dies unter anderem dadurch, dass der Mensch, physikalisch betrachtet, ein mehrfach feder- und massengekoppeltes Oszillatorensystem darstellt. Abhängig von Körperbau, Körperposition und Ort der Schwingungseinleitung werden unterschiedliche Energie- und Frequenzanteile übertragen oder herausgefiltert. Zudem verfügt der Mensch nicht über ein einzelnes, sondern über mehrere Sensorsysteme, die Schwingungseinwirkungen erfassen können. Ferner hängen die Effekte von den verschiedenen Schwingungsparametern wie Amplitude, Frequenz, Form und Regelmäßigkeit ab.

Negative Auswirkungen von Vibrationen ergeben sich meist durch chronische Belastungen. Bei Arbeitern, die täglich mit vibrierenden Maschinen umgehen und dadurch mehrere Stunden hochfrequenten Vibrationsbelastungen ausgesetzt sind, ist die Sensibilität häufig nachhaltig eingeschränkt und die Durchblutung gestört. Dies macht Arbeitsschutzbestimmungen und Kontrollen zwingend notwendig. Demgegenüber zeigen zahlreiche neue Forschungsarbeiten auch unseres Teams, dass sich mit bestimmten Schwingungsformen therapeutische Wirkungen, insbesondere bei Personen mit neurodegenerativen Krankheitsbildern und Bewegungsstörungen, erzielen lassen. Bereits im 19. Jahrhundert berichtete Jean Marie Charcot (1825–1893), der zu den damals führenden Neurophysiologen zählte, über derartige Effekte. Bei Parkinson-Patienten stellte er fest, dass sich die Symptome nach Eisenbahnfahrten deutlich verminderten. Dieses Phänomen führte er auf die entstehenden Schwingungsreize zurück und entwickelte zu therapeutischen Zwecken einen »chaise trepidante« (Rüttelstuhl), der allerdings nur sehr aufwändig bedienbar war. 1

Stimulation des neuromuskulären Systems – Hilfe für Parkinson-Patienten

Im Mittelpunkt aktueller Forschungsarbeiten stehen vor allem Patienten, deren alltägliche Bewegungsfähigkeiten als Folge von Erkrankungen oder Verletzungen beeinträchtigt sind. Die Konsequenzen dieser Bewegungseinschränkungen und der damit einhergehenden Inaktivitäten können sehr nachhaltig sein. Sie reichen von einem »einfachen« Verlust an Muskel- und Knochenmassen über die Veränderung von neuronalen Aktivierungsschwellen bis zu komplexen Koordinationsstörungen und daraus resultierenden Sturzrisiken. Vor allem der Zusammenhang zwischen »Bewegungsreizen« und dem »Überleben von Nervenzellen« ist ein zentraler und bisher deutlich zu wenig beachteter Mechanismus. Wird eine Nervenzelle über einen längeren Zeitraum nicht gereizt, verliert sie ihre Funktionsfähigkeit, und für den Organismus besteht keine Notwendigkeit, diese weiterhin adäquat zu versorgen. Bei ausreichender Aktivität – zum Beispiel durch gezielte Trainingsreize – werden biochemische Substanzen, so genannte »Neurotrophe Faktoren«, freigesetzt, die der Degeneration und dem Funktionsverlust von Nervenzellen entgegenwir-

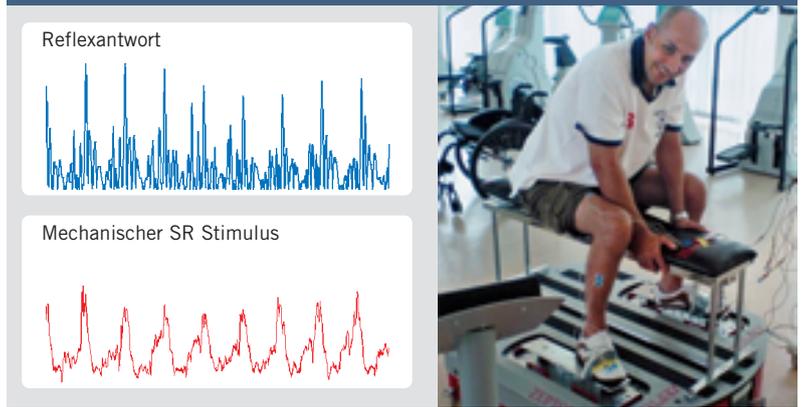
ken sowie für neue Verknüpfung von Nervenzellverbänden sorgen.

Diese Vorgänge sind insbesondere für Patienten mit neurodegenerativen Krankheiten wie Parkinson, Multipler Sklerose, aber auch bei Neurotraumata wie Rückenmarksverletzungen von zentraler Bedeutung; und infolgedessen ist es besonders kritisch, dass gerade bei diesen Patienten Bewegungsstörungen vorliegen, die ein entsprechendes Training erschweren oder nahezu unmöglich machen. Als fatale Konsequenz, wenn die notwendigen Bewegungsstimuli fehlen, ergibt sich schnell eine weitere Verschlechterung der Symptomatik.

Die Stimulation des neuromuskulären Systems mit Vibrationsreizen schafft hier eine Möglichkeit, die Abwärtsspirale zu durchbrechen. Bereits in den 1960er Jahren wurde gezeigt, dass die Übertragung von Vibrationen auf den Muskel-Sehnen-Apparat zu Reflexantworten führt, dem Tonic-Vibration-Reflex (TVR). Somit sind muskuläre Aktivitäten generierbar, auch wenn willkürliche Aktivierungsschleifen – zum Beispiel bei einer Lähmung – geschädigt sind. Zwar kann ein solches »Bypassing« auch über eine Reizsetzung mit elektrischen Signalen erreicht werden, allerdings bewirken diese eine direkte Depolarisation der Muskelfasermembran, so dass sensorische Signale weder selektiert noch gewichtet werden und somit auch nicht in die Bewegungssteuerung mit einfließen. Sollen allerdings funktionale Bewegungsmuster wiedererlernt werden, was als zentrales Ziel in der Neurorehabilitation angesehen wird, muss das neuromuskuläre System in der Lage sein, die äußeren Reize adäquat zu gewichten. Wird dies nicht trainiert, so ergibt sich quasi ein digitales Verhalten, das heißt: Der Muskel ist entweder gar nicht aktiviert oder maximal. Für die meisten Bewegungsabläufe sind allerdings Zwischenstufen notwendig. Durch Vibrationsreize, die ein gewisses Maß an Variabilität und Störeinflüssen beinhalten, wie Stochastische Resonanz-Signale (SR), können beide Anforderungen erfüllt werden: Schaffung von unwillkürlichen muskulären Aktivierungen (Bypassing) und Erlernen optimal abgestufter muskulärer Aktivierungsmuster **2**.

Stochastische Resonanz (SR) ist ein in verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen untersuchtes Phänomen. Begründet und erstmalig beschrieben wurde das Prinzip der Stochastischen Resonanz in den 1980er Jahren von dem italienischen Geophysiker Roberto

Stochastische Resonanz-Effekte bei Neurotraumata

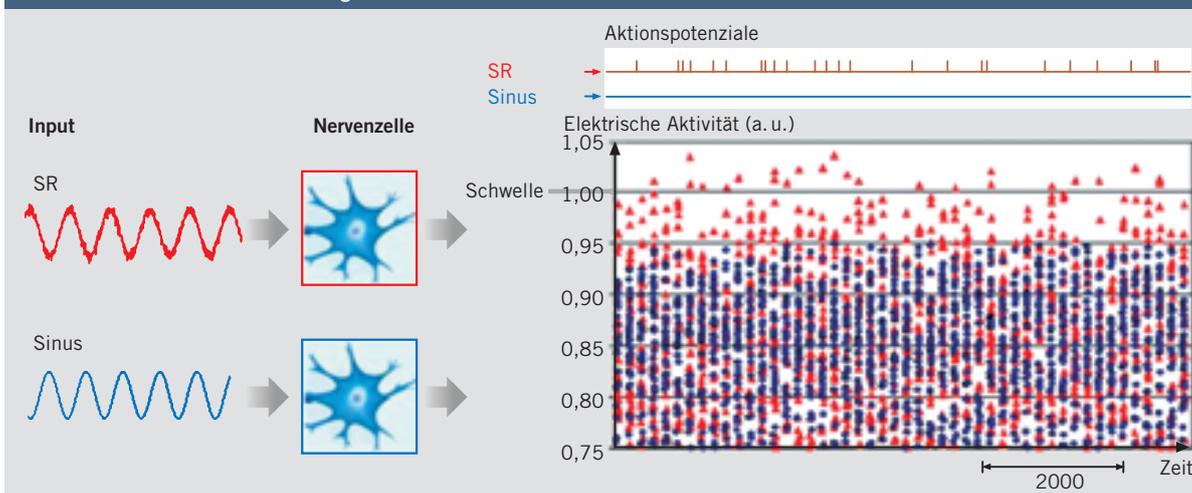


2 Schematische Darstellung der mechanischen SR-Reizgebung und der resultierenden muskulären Reflexantwort bei einem Patienten mit Rückenmarkschädigung.

Benzi und seinen Mitarbeitern im Zusammenhang mit der Berechnung der Periodendauer von Eiszeiten. Inzwischen sind SR-Algorithmen in zahlreichen naturwissenschaftlichen Disziplinen zu finden. In einer sehr allgemeinen Form beschreibt die Stochastische Resonanz Effekte von zufälligen (stochastischen) Einflüssen auf das Verhalten nichtlinearer Systeme, zu denen auch der Mensch zählt. Die andauernde, aber nicht vorhersehbare Veränderung der SR-Signale führt im Training zu beständigen, geringen Störungen des Gleichgewichts. Erfolgt dies wiederholt, lernt der Mensch muskuläre Aktivierungsmuster zu erzeugen, um die Störeinflüsse möglichst erfolgreich zu kompensieren. Wären die Vibrationsreize immer die gleichen (zum Beispiel Sinusschwingungen), so wären die Antworten der Rezeptoren in der Muskulatur, den Sehnen, der Haut und den Gelenken auch immer gleich, und die Informationen würden für das Gehirn uninteressant. Ferner wird mit Sinusschwingungen auch nur ein sehr enges Aktivierungsmuster trainiert, das den variablen Anforderungen des Alltags kaum genügt.

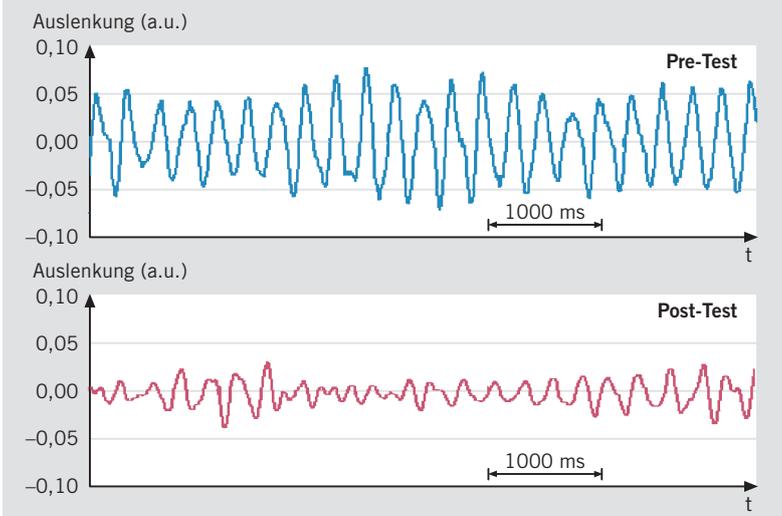
Stochastische Vibrationssignale vom SR-Typus bieten dagegen einen wichtigen weiteren Vorteil. Sie interagieren mit ebenfalls stochastischen Funktionsparametern des Nervensystems **3**, woraus resonanzähnliche Verhaltensweisen resultieren. Hierdurch können – im Gegensatz zu einem linearen Signal – Reizschwelligkeiten von Nervenzellen einfacher überschritten werden. In Konsequenz bedeutet dies, dass bereits geringe Reizintensitäten vom Patienten wahrgenommen und neuro-

Stimulation von Oszillationseinwirkung in künstlichen neuronalen Netzwerken



3 Simulation der neuroelektrischen Effekte eines Sinus-Signals (blau) beziehungsweise SR-Signalen (rot) in einem einfachen Nervenzellmodell: Während Sinus-Stimuli unterschwellig bleiben, werden durch Stochastische Resonanzen Aktionspotenziale ausgelöst.

Auswirkungen eines SR-Trainings auf das Gleichgewicht bei Parkinson-Patienten



4 Exemplarische Darstellung der Daten einer Gleichgewichtsmessung eines Parkinson-Patienten. Während im Vor-Test große Vorwärts-Rückwärts-Schwankungen existent sind, kann nach der SR-Intervention eine signifikant bessere Kontrolle des Gleichgewichts festgestellt werden.

muskuläre Aktivitäten erzeugt werden. So konnten beispielsweise Wen Liu und Co-Autoren (Harvard Medical School, Boston University, USA) zeigen, dass die Wahrnehmungsfähigkeit von mechanischen SR-Reizen bei älteren Personen, Schlaganfall- und Neuropathie-Patienten im Vergleich zu harmonischen Sinussignalen um 16 bis 34 Prozent erhöht ist. Zahlreiche weitere Studien amerikanischer, australischer und israelischer Neurobiologen, Psychologen und Physiker stellen vergleichbare Effekte bei verschiedenen Patientengruppen fest. Kanadische Kollegen zeigten, dass harmonische und zufällige mechanische Reize auch in der Aktivierung von Hirnarealen unterschiedliche Resultate erzeugen: Insbesondere die Areale werden durch die zufälligen Einflüsse deutlich stärker aktiviert, die bei zahlreichen Krankheitsbildern vermindert aktiv sind – wie präfrontaler Kortex und supplementär-motorische Area.

Charles Turner und seine Mitarbeiter von der Indiana University School of Medicine (USA) zeigten des Weiteren tierexperimentell, dass sich SR-Reize eignen, um die Wachstumsprozesse des Knochens zu fördern. Im Vergleich zu harmonischen Sinusreizen können

rund vierfach größere Effekte erreicht werden. Offensichtlich ist dies auf eine stochastische Funktionsweise von Kalzium und anderen Ionen-Kanälen zurückzuführen, die wiederum eine zentrale Rolle für die Ausbildung von Knochenzellen (Osteoblasten) spielen. Praktische Relevanz bieten diese Resultate für die Prävention und Rehabilitation von Osteoporose, wodurch sich die Gefahr von Brüchen deutlich reduziert.

Unsere eigenen Untersuchungen beschäftigten sich vorwiegend mit den Auswirkungen von mechanischen SR-Signalen auf koordinative Leistungen und zugrunde liegende Steuerungsprozesse des Menschen. Die Basis bildet dabei das Phänomen, dass eine Bewegung nie ein zweites Mal durchgeführt wird, selbst wenn es Routinebewegungen mit vermeintlich denselben Mustern sind. In Konsequenz bedeutet dies, dass die Erzeugung einer Bewegung jeweils einen gewissen kalkulatorischen Aufwand erfordert. Gleichzeitig gibt es im Alltag und vor allem im Sport zahlreiche Situationen, in denen die Verarbeitungsprozesse sehr schnell funktionieren müssen. Läuft man beispielsweise einen unebenen Feldweg entlang, werden Reflexe in der Beinmuskulatur ausgelöst. Die wesentliche Anforderung besteht einerseits darin, dass bestimmte, an die äußeren Bedingungen angepasste Reflexgrößen notwendig sind, um flüssig und sicher laufen zu können, andererseits müssen diese Vorgänge in extrem kurzen Zeitspannen von zirka 100 bis 200 Millisekunden ablaufen. Normalerweise funktioniert das über Erfahrungswerte, die aber durch Verletzungen und Erkrankungen gestört sein können. Durch die variablen Trainingsanforderungen der SR-Reize kann das Reflexverhalten optimiert werden.

Die Frankfurter »Stochastic Resonance Version«

Am Institut für Sportwissenschaften in Frankfurt wurde die Möglichkeit geschaffen, Trainings- und Therapie-Verfahren auf SR-Signalen aufzubauen. Der jeweils Trainierende oder der Patient steht dabei auf zwei Fußplatten, die sich mehrdimensional und mit einer Grundfrequenz zwischen vier und acht Hertz bewegen und

Erfahrungsberichte von Patienten nach SR-Training

Störungen der Bewegungsfähigkeit haben häufig weit reichende Folgen, die weit über den physiologisch-motorischen Bereich hinausgehen. So kommt es häufig zum Abreißen sozialer Kontakte, Vereinsamung, Verminderung der Lebensqualität et cetera. In unseren Forschungsprojekten messen wir nicht nur die direkten motorischen Effekte, sondern betrachten auch subjektive Empfindungen von Patienten und die Auswirkungen auf das alltägliche Leben. Exemplarisch sind nachfolgend zwei kurze Erfahrungsberichte dargestellt.

»Es haben sich folgende Veränderungen meines Zustands ergeben:

Tremor: keine Besserung

Rigor: nicht spürbar, war nie ein Problem

Sturzneigung: vollkommen beseitigt

Müdigkeit: schwankend, aber gegenüber dem letzten Jahr weniger ausgeprägt

Verschlucken: vollkommen beseitigt

Schreiben: klareres Schriftbild

Bewegungen: harmonischer«

(Parkinson-Patient nach einjährigem täglichem Training)

»Seit Februar nehme ich an einer Studie teil, in deren Rahmen ich mit dem Stochastischen Resonanz-Training begonnen habe. Schon nach kurzer Zeit habe ich einen Effekt bemerkt: Das Stehen fällt mir im Allgemeinen leichter, insbesondere das freie Stehen. Ich benötige sehr viel weniger Kraftaufwand und stehe sicherer. Auch das Laufen hat sich verbessert: Ich laufe leichter, runder und schneller. Ich habe sehr viel mehr Schubkraft, das heißt, ich muss mich nicht mehr schleppen, sondern bewege mich flüssiger. Darüber hinaus hat sich meine Stolper- und Fallrate deutlich verringert.«

(Multiple Sklerose-Patientin nach einem mehrwöchigen Training)

Der Ursprung des SR-Trainingsansatzes

Interessanterweise stammen die ersten Erkenntnisse über SR-Trainingseffekte aus der Hochleistungssportforschung. Insbesondere bei Sportarten, bei denen hohe Anforderungen an die Gleichgewichtsregulation und die Reflexsteuerung bestehen, kommt das SR-Training zum Einsatz.

Athleten wie Hermann Maier, Kati Wilhelm und Ronny Ackermann greifen im Koordinationstraining auf das Frankfurter Verfahren zurück. Analog zur Automobilbranche, in der Know-how in Rennen gesamt

wird, um es später auch in normalen Kleinwagen anzuwenden, scheint dies bis zu einem gewissen Grad auch auf den Menschen zuzutreffen. Der Grund, weshalb dieser Transfer im Bereich des Stochastischen Resonanz-Trainings möglich ist, liegt vor allem darin, dass nicht ein spezifisches Symptom therapiert wird, sondern elementare Mechanismen der Bewegungssteuerung angesprochen und optimiert werden, die gleichfalls für den Athleten wie auch den Patienten wichtig sind.

zur beständigen Destabilisierung des Gleichgewichts führen. Um Gewöhnungseffekte zu vermeiden und zudem eine schnellere Wahrnehmung des Signals sicherzustellen, wird die Grundfrequenz von zufälligen (stochastischen) Störfaktoren unterbrochen. Eine übliche Trainingseinheit beläuft sich auf rund fünf Serien zu je einer Minute. Diese kurzen Zeitspannen wurden deshalb gewählt, um Ermüdungsreaktionen im Nervensystem zu vermeiden.

Bei Parkinson-Patienten führen kurze Reizserien von fünfmal einer Minute zu einer hochsignifikanten Verbesserung in der motorischen Symptomatik. Das Zittern (Tremor) der Patienten reduziert sich durchschnittlich um 25 Prozent, die Steifigkeit verbessert sich um 24 Prozent. Der Umfang der Symptomreduktion ist allerdings sehr unterschiedlich, bei rund einem Fünftel der Patienten können keine Veränderungen festgestellt werden. Gleichwohl sind die Resultate gut reproduzierbar. Klinische und therapeutische Relevanz ergibt sich vor allem im Bereich der Behandlung großmotorischer Symptome wie Gleichgewichtsstörungen, die mit bisherigen medikamentösen Interventionen schwer behandelbar sind. **4**

Eine vermehrte Freisetzung von Neurotransmittern, so haben Tierexperimente gezeigt, könnte eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung der Parkinson-Symptomatik spielen. So reagiert ein Teil des Gehirns bei neuen, nicht vorhersehbaren Anforderungen – wie sie Stochastische Resonanz-Reize beinhalten – mit der



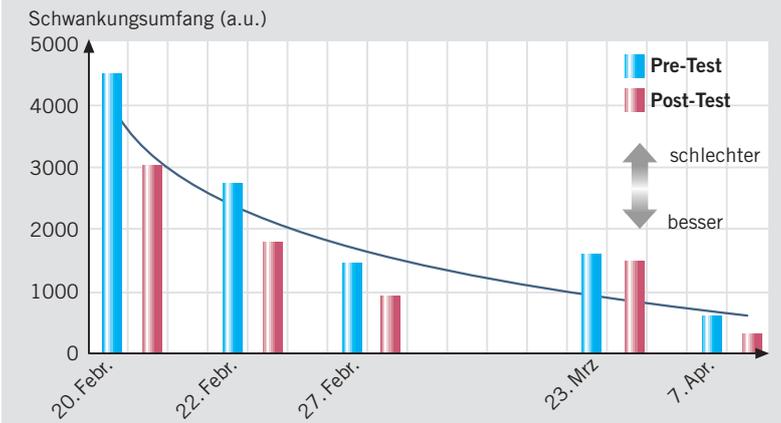
Goldmedaillen-Gewinnerin und Star der Biathlonszene Kati Wilhelm beim Koordinationstraining mit Stochastischen Resonanz-Reizen.



Freisetzung von Dopamin. Dass noch weitere neurobiologische Mechanismen von Bedeutung sind, zeigen Studien europäischer Kollegen verschiedener Fachrichtungen, die den Frankfurter Ansatz auf andere Krankheitsbilder bezogen und anwendeten. Lorenz Radlinger und Mitarbeiter vom Universitätsspital in Bern (Schweiz) erforschten die Auswirkungen auf Herz-Kreislaufparameter und konditionelle Aspekte bei Patienten mit chronisch-venöser Insuffizienz. Berthold Kepplinger, Direktor der Landesnervenklinik West (Österreich), stellte nachhaltig positive Auswirkungen des SR-Trainings bei Depression und chronischen Schmerzpatienten fest. Othmar Schuhfried und sein Team, Universitätsklinik Wien (Österreich), identifizierten Verbesserungen der Gleichgewichtsregulation von Patienten mit Multipler Sklerose nach SR-Stimulation. Vergleichbare Resultate konnten bei MS-Patienten auch in Frankfurt gefunden werden. **5**

Auch der nordische Kombinierer Ronny Ackermann, Sportler des Jahres, sucht nach Möglichkeiten, sein Training noch weiter zu verbessern und stieß dabei auf das Stochastische Resonanz-Training.

Auswirkungen eines SR-Trainings auf das Gleichgewicht bei MS-Patienten



In einem spanisch-deutschen Kooperationsprojekt überprüften wir gemeinsam mit Wissenschaftlern aus Sevilla, welche Effekte das SR-Training bei Patienten mit inkompletten Querschnittslähmungen auslöst. Je nach Grad der Rückenmarksschädigung kann bei diesen Patienten eine Wiederherstellung der Gehfähigkeit erreicht werden. Die Daten zeigen, dass Patienten über deutlich bessere Gangfunktionen verfügen, wenn in die Therapie SR-Trainingsreize implementiert werden.

5 Daten der posturalen Kontrolle (Gleichgewicht) im Verlauf einer mehrwöchigen Einzelfallstudie mit einer MS-Patientin: Ein größerer Balken repräsentiert eine schlechtere Leistung. Auffällig ist ein jeweils direktes Ansprechen auf die Therapie-maßnahme (Pre versus Post) und darüber hinaus auch eine langfristige Verbesserung, die allerdings keinen linearen Charakter aufweist. Auch nach dem Absetzen der Intervention für acht Wochen (hier nicht dargestellt) können im Vergleich zu den Eingangstests noch erheblich bessere Leistungen identifiziert werden.

Wahrscheinlich sorgt die Aktivierung von Nervenzellverbänden im Rückenmark (Central-Pattern-Generator), die unabhängig vom Gehirn als Rhythmusgeber arbeiten, für diese Resultate.

Obwohl inzwischen rund 250 Kliniken und Rehabilitationseinrichtungen in Europa den Frankfurter SR-Ansatz therapeutisch nutzen, sind nach wie vor einige Funktionsmechanismen ungeklärt und Gegenstand der Forschung. Ferner soll trotz zahlreicher positiver Effekte nicht der Eindruck eines »Allheilmittels« erweckt werden, das alle anderen Behandlungsansätze überflüssig macht. Sowohl im Bereich des sportlichen Trainings als auch in der Therapie ist ein effektives Vorgehen generell durch verschiedene, aufeinander abgestimmte Maßnahmen gekennzeichnet. ♦

Weiterführende Literatur

- | | | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|---|
| Gammaitoni L., et al. Rev. Mod. Physics. 1998; S. 224–287. | Haas C. T., et al. Zeitsch. Sportmed. 2004; S. 34–43. | Haas C. T., et al. Bewegungstherapie und Gesundheitssport. 2006; S. 58–61. | Liu W., et al. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2002; 83, S. 171–176. | Schmidtbleicher D., et al. 23 th ISBS Proceedings 2005, S. 71–79. | Tanaka S. M. et al. FASEB Journal. 2002, online. | Ward L. W., et al. Biol. Cybern. 2002; S. 91–101. |
| Griffin M. J., Handbook of human vibration. Academic Press. San Diego; 1996. | Haas C. T., et al. NeuroRehabilitation. 2006 3; S. 29–36. | Haas C. T., et al. 24 th ISBS Proceedings 2006, S. 311–314. | Nelson A. J. et al. Exp. Brain Res. 2004; S. 22–32. | Schuhfried O., et al. Clin. Rehabil. 2005; 19; S. 834–842. | Turbanski S., et al. Research in Sports Medicine. 2005; S. 243–257. | |

Die Autoren



Dr. Christian T. Haas, 34, (rechts) studierte in Frankfurt Diplom-Sportwissenschaften. Von 1998 bis 2001 war er Graduiertenstipendiat und promovierte über mechanische Schwingungsreize im alpinen Skirennlauf. Seit 1999 bilden interdisziplinäre Forschungsprojekte mit Schnittstellen zur Physik, Neurobiologie und dem Therapiebereich einen Arbeitsschwerpunkt. Mit einem vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft geförderten For-

schungsprojekt und Forschungsaufenthalten in Vail, Park City und Salt Lake City (USA) vertiefte er seine Kenntnisse in den Bereichen der Prävention und Rehabilitation von Kniegelenkverletzungen. In Kooperation mit einem europäischen Netzwerk verschiedener neurologischer Kliniken erforschte Haas in den vergangenen Jahren die Auswirkungen von Trainingsreizen auf die motorische Leistungsfähigkeit und Symptome bei Patienten mit neurodegenerativen Krankheitsbildern und Neurotraumata. 2001 wurde Haas auf der Medizinmesse Medica für die Entwicklung eines neuen Trainingsverfahrens für die Therapie von Bewegungsstörungen mit dem Fresenius Erfinder- und Innovationspreis ausgezeichnet. Zurzeit arbeitet er an der Fertigstellung seiner

Habilitation zum Thema »Mechanische Reizgebung und Sensorische Leistung«.

Dr. Stephan Turbanski, 30, (links) der ebenfalls an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Sportwissenschaften studierte, promovierte 2005 über »Posturale Kontrollmechanismen bei M. Parkinson«. Zurzeit leitet er das vom Bundesinstitut geförderte Forschungsprojekt »Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung der Kraftfähigkeiten im Behindertensport«.

Prof. Dr. Dietmar Schmidtbleicher, 57, ist Professor für Trainings- und Bewegungswissenschaften am Institut für Sportwissenschaften der Universität Frankfurt. Er studierte Sportwissenschaften und Leistungsphysiologie in Freiburg, wo er auch promovierte. Von 1975 bis 1988 arbeitete der Sportwissenschaftler in den DFG-Sonderforschungsbereichen »Hirn- und Sinnesphysiologie« und »Adaptation von Nervensystemen und motorisches Lernen«. Schmidtbleicher ist Vorsitzender des Direktoriums des Bundesinstituts für Sportwissenschaften und Ehrenpräsident der European Interdisciplinary Society for Clinical and Sports Application. In seiner Forschung beschäftigt er sich mit neuronalen Steuerungsmechanismen der Bewegung sowie dem Kraft- und Schnelligkeitstraining. Nähere Informationen zur Stochastischen Resonanz-Therapie: c.haas@sport.uni-frankfurt.de



Abonnement FORSCHUNG FRANKFURT

FORSCHUNG FRANKFURT, das Wissenschaftsmagazin der Johann Wolfgang Goethe-Universität, stellt viermal im Jahr Forschungsaktivitäten der Universität Frankfurt vor. Es wendet sich an die wissenschaftlich interessierte Öffentlichkeit und die Mitglieder und Freunde der Universität innerhalb und außerhalb des Rhein-Main-Gebiets.

- Hiermit bestelle ich FORSCHUNG FRANKFURT zum Preis von 14 Euro pro Jahr einschließlich Porto. Die Kündigung ist jeweils zum Jahresende möglich.
- Hiermit bestelle ich FORSCHUNG FRANKFURT zum Preis von 10 Euro als Schüler- bzw. Studentenabo einschließlich Porto (Kopie des Schüler- bzw. Studen-
tenausweise lege ich bei).

Name

Vorname

Straße, Nr.

PLZ, Wohnort

(nur für Universitätsangehörige:) Hauspost-Anschrift

Datum

Unterschrift

Widerrufsrecht: Mir ist bekannt, dass ich diese Bestellung innerhalb von zehn Tagen schriftlich bei der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Vertrieb FORSCHUNG FRANKFURT, widerrufen kann und zur Wahrung der Frist die rechtzeitige Absendung des Widerrufs genügt. Ich bestätige diesen Hinweis durch meine zweite Unterschrift.

Datum

Unterschrift

- Ich bin damit einverstanden, dass die Abonnementsgebühren aufgrund der obigen Bestellung einmal jährlich von meinem Konto abgebucht werden.

Konto-Nr.

Bankinstitut

Bankleitzahl

Ort

Datum

Unterschrift

- Ich zahle die Abonnementsgebühren nach Erhalt der Rechnung per Einzahlung oder Überweisung.

Bitte richten Sie Ihre Bestellung:
An den Präsidenten der
Johann Wolfgang Goethe-Universität
»FORSCHUNG FRANKFURT«
Postfach 11 19 32, 60054 Frankfurt