

Vibrationstraining in der Rehabilitation von Gang- und Gleichgewichtsstörungen

Mechanische Signale können biopositive neuroplastische Prozesse bewirken

Störungen der Gehfähigkeit und der posturalen Kontrolle sind weit verbreitete Charakteristika verschiedener Traumata wie zum Beispiel Schädel-Hirn-Traumata, spinalen Läsionen etc. und ebenso kennzeichnend für zahlreiche neurodegenerative Erkrankungen wie M. Parkinson, MS, ALS etc.

Die Folgen motorischer Pathologien sind vielfältig und bewirken meist ein erhöhtes Sturzrisiko, führen zu Einschränkung in der Mobilität sowie im Falle einer Chronifizierung zur Entstehung eines physio-psycho-sozialen Teufelskreises. Aus trainingswissenschaftlicher und sportmedizinischer Sicht stellt vor allem die Reduktion der alltäglichen Trainingsreize ein zentrales bionegatives Kriterium dar. So können bereits relativ kurze Inaktivitätsphasen nachhaltige biochemische, neuronale und muskuläre Dysfunktionen bewirken. In Immobilisationsstudien wurde deutlich, dass sich die Proteinbiosynthese innerhalb eines Inaktivitätszeitraums von sieben bis 14 Tagen um 50 bis 60 Prozent reduziert¹. Mit diesen biochemischen Modifikationen sind auch strukturelle und morphologische Veränderungen gekoppelt. Bei ausreichend langer Inaktivität degenerieren zentrale und periphere neuronale Netzwerke, wodurch die Möglichkeiten der muskulären Ansteuerung nachhaltig reduziert werden^{2,3}.

Neuromuskuläre Reflexantworten durch geeignete Signalauswahl

Zielstellung ist es folglich, wirksame Trainingsreize zu generieren, ohne auf eine gut funktionierende willkürliche muskuläre Aktivierungsfähigkeit beziehungsweise komplexe Koordinationsmuster angewiesen sein zu müssen. Potenzial bietet hier die Applikation eines mechanischen Signals (Vibration) an der Körperperipherie. Bei geeigneter Signalauswahl und -applikation können neuromuskuläre Reflexantworten (Bypassing) erzeugt wer-

den, die bei langfristiger Anwendung biopositive neuroplastische Prozesse bewirken^{3,4}. Gegenüber einer Stimulation mit elektrischen Signalen besteht bei einer mechanischen Reizsetzung prinzipiell der Vorteil, dass sensorische Integrationsprozesse nicht umgangen, sondern mit einbezogen werden, was für das Wiedererlernen funktionaler muskulärer Aktionsmuster von zentraler Bedeutung ist.

Zwar sind Pauschalaussagen zu den Effekten von Vibrationseinwirkungen beim Menschen nicht möglich, da diese ein individuelles und stark nichtlineares, mehrfach gekoppeltes Oszillatorensystem mit frequenzselektiven Filterfunktionen darstellen und ferner multiple physiologische Ebenen sensitiv für Vibrationsstimuli sind. Es liegen allerdings verschiedene Evidenzen vor, dass ein Signal, welches durch Rauscheinflüsse überlagert wird (Stochastische Resonanz), einfacher erfasst und verarbeitet werden kann als eine vergleichbare Sinusoszillation^{2,4}.

Stochastische Resonanz

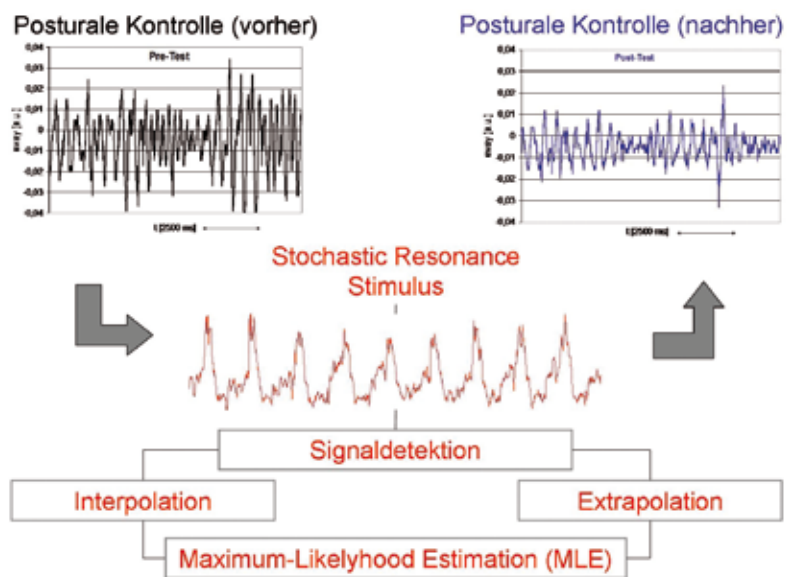
Stochastische Resonanz (SR) ist ein relativ weit verbreitetes, multidisziplinäres Phänomen⁵. Die zugrunde liegenden mathematischen Algorithmen sind äußerst robust und gut beschrieben. Die hohe Sensitivität und die gute Integrationsfähigkeit von mechanischen SR-Signalen ergeben sich beim Menschen durch ein natürliches stochastisches Verhalten von Nervenzellen. Dieses ermöglicht die Entstehung kurzfristiger konstruktiver Interferenzen (Quasi-Resonanz) mit der Folge von überschwelligem neuronalen Aktivierungsstatus. Eine solche Funktionalität lässt sich sowohl bei Simulationen in künstlichen neuronalen Netzen, in tierexperimentellen Designs als auch in Humanstudien identifizieren^{3,4,5}.

Liu und Mitarbeiter⁶ zeigten, dass die Wahrnehmungsfähigkeit von mechanischen SR-Reizen bei älteren Personen,

Schlaganfall- und Neuropathie-Patienten im Vergleich zu Sinussignalen um 16 bis 34 Prozent erhöht ist. Khaodhiar et al.⁷ stellten ähnliche Effekte bei Patienten mit diabetischer Neuropathie fest. Bezugnehmend auf die Rehabilitation bietet diese Funktionalität den Vorteil, überschwellige neuromuskuläre Aktivierungen auch ohne energiereiche Signale beziehungsweise hohe Kräfteinwirkungen – welche bei verschiedenen Läsionen und Krankheitsbildern eine Kontraindikation darstellen würden – generieren zu können. Ferner fördert der variable Signalanteil auch das Inter- und Extrapolationspotenzial, das heißt eine möglichst gute Anpassung der neuromuskulären Aktion an neue Anforderungen und Situationen durch die Kenntnis zahlreicher und unterschiedlicher Referenzwerte (Maximum Likelihood Estimation). Da diese Funktion einen basalen Charakter hat, beschränkt sie sich nicht auf die Therapie einer einzelnen Läsion beziehungsweise eines spezifischen Krankheitsbildes, sondern führt relativ übergreifend zu verbesserten Koordinationsmustern.

Gleichgewicht kann durch Einsatz von SR verbessert werden

Bei MS-Patienten konnten Schuhfried und Koautoren optimierte posturale Kontrollmechanismen nach SR-typischer Vibrationsapplikation identifizieren⁸. Eigene Untersuchungen zeigen vergleichbare Daten bei MS- und Parkinson-Patienten oder nach orthopädischen Läsionen^{2, 3, 4, 5, 9}. So fanden Turbanski et al.^{10, 11} in einer umfangreichen Testbatterie signifikante Unterschiede in der Entwicklung der Gleichgewichtsregulation bei Parkinson-Patienten, die mit SR trainierten, im Vergleich zu Kontrollpatienten. In Abhängigkeit vom jeweils eingesetzten Test wies die Experimentalgruppe (SR) ein bis 32 Prozent besseres Gleichgewichtsverhalten auf, was vor allem für eine Übertragbarkeit in den Alltag von Relevanz ist.



Schematische Darstellung der Auswirkungen von Stochastischen Resonanz Reizen auf posturale Kontrollmechanismen (Details siehe Text).

Bei Patienten mit Kreuzbandruptur führte die Applikation von fünf einminütigen Reizserien bei einer Trägerfrequenz von 6 Hz zu einer hochsignifikanten Optimierung der dynamischen Gleichgewichtsregulation im Bereich zwischen 24 und 46 Prozent¹².

In Analogie zur Verteilungsstruktur der Ergebnisse ist auch die Erklärung des Zustandekommens nicht auf eine einzelne Funktion beschränkt. Xiao und Koautoren¹³ präsentieren einen systemtheoretischen Ansatz: „In other words, increasing noise (increasing disorder) in the input may result in increasing order in the output. This seemingly striking feature of nonlinear stochastic systems is termed as stochastic resonance (SR)¹³.

Auch Davids et al.¹⁴ argumentieren, dass sich die Leistungsfähigkeit (geringere Fehleranfälligkeit) im Output von nichtlinearen Systemen – wie zum Beispiel beim Menschen – erhöht, wenn vermehrt stochastische Anteile (Noise) in den Input einfließen. Gleichwohl muss die Noise-Dosis einerseits in einer bestimmten Relation zum Grundsignal (Signal to Noise Ratio, SNR) stehen, um Detektions- und Integrationsprozesse zu optimieren und nicht zu chaotisieren, und andererseits auf die stochastischen Eigenschaften des stimulierten Systems abgestimmt sein.

Individuelle SNRs bringen optimales motorisches Output

Da Li und Koautoren¹⁵ argumentieren, dass neurodegenerative Prozesse zu einer Erhöhung des neuronalen Grundrauschens führen, muss angenommen werden, dass für unterschiedliche Krankheitsbilder, Beeinträchtigungen und Schädigungen jeweils individuelle SNRs im Inputsignal notwendig sind, um einen optimalen motorischen Output zu erreichen. Ferner schlagen Nozaki et al.¹⁶ vor, dass Abweichungen des Noise von einer spektralen Gleichverteilung (so genannte Colored Noise) unter bestimmten Bedingungen die Detektionsfähigkeit

des Signals erhöhen. Eine frühzeitige Signalerfassung und -bewertung erscheint vor dem Hintergrund bedeutsam, dass die Bewegungssteuerung unter natürlichen Bedingungen meist an bestimmte zeitliche Vorgaben sowie an fluktuierende Einflussgrößen angepasst werden muss. Unter den üblicherweise hochgradig standardisierten und maschinell gestützten Trainings- und Therapiebedingungen sind diese Fluktuationen jedoch stark eingeschränkt oder entfallen ganz, weshalb entsprechende Anpassungen in der Sensomotorik auch nicht erreicht werden. Auch ist die Nutzung des Noise in der natürlichen Umwelt während des Trainings für zahlreiche Patientengruppen entweder äußerst risikobehaftet oder aus kardiopulmonalen beziehungsweise energetischen Gründen nicht möglich.

Vor diesem Hintergrund erscheint das Einstreuen von Rauschteilen und Störgrößen in ein maschinell gestütztes Training für die Rekalibration pathologischer großmotorischer Regelkreise (posturale Kontrolle und Lokomotion) nachhaltig sinnvoll.

KORRESPONDENZ:

DR. CHRISTIAN T. HAAS
E-MAIL: C.HAAS@SPORT.UNI-FRANKFURT.DE

CT HAAS, S TURBANSKI, D SCHMIDTBLEICHER,
INSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFTEN,
J. W. GOETHE-UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN

Literatur:

- 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–S269
- Haas CT, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidtbleicher D (2006) Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* 2; 258–261.
- Haas CT, Schmidtbleicher D (2006) Neural and Biochemical Aspects in Rehabilitation Training. *Proceedings of the 24th ISBS Congress 2006*; 311–314.
- Haas CT, Turbanski S, Kaiser I, Schmidtbleicher D (2004) Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deut Zeitsch Sportmed* 2; 34–43.
- Gammaitoni L, Hänggi P, Jung P, Marchesoni F (1998) Stochastic Resonance. *Rev Mod Physics* 1; 224–287.
- 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* 83; 171–176.
- Khaodhiar L, Niemi JB, Earnest R, Lima C, Harry JD, Veves A (2003) Enhancing Sensation in Diabetic Neuropathic Foot with Mechanical Noise. *Diabetic Care* 26; 3280–3283.
- Schulfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, Paternostro-Sluga (2005) Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clin Rehabil* 19; 834–842
- Haas CT, Turbanski S, Schmidtbleicher D (2004) Zur Therapie von Gleichgewichtsstörungen bei nervalen Krankheitsbildern. *ZNS & Schmerz* 3; 18–20
- Turbanski S, Haas CT, Friedrich A, Duisberg P, Schmidtbleicher D (2005) Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Research in Sports Medicine – an International Journal* 3; 243–256
- Turbanski S (2006) Zur posturalen Kontrolle bei Morbus Parkinson: biomechanische Diagnose und Training, Dissertation, Frankfurt
- Haas CT, Kaiser I, Turbanski S, Schmidtbleicher D (2003) Zum Einsatz randomisierter Oszillationen in der Prävention und Rehabilitation von Rupturen des vorderen Kreuzbandes im alpinen Skirennlauf. *Forschungsprojekt gefördert vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft, unveröffentlichter Forschungsbericht*
- Li S-C, von Oertzen T, Lindberger U (2005) A neurocomputational model of stochastic resonance and ageing. *Neurocomputing* 1553–1560.
- 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* 601–605.
- Nozaki D, Mar DJ, Grigg P, Collins JJ (1999) Effects of Colored Noise on Stochastic Resonance in Sensory Neurons. *Physical Review Letters* 2402–2405