

Vibrationstraining in der Therapie unter besonderer Berücksichtigung der Stochastischen Resonanz

S Dalichau

Institut f. angewandte Prävention u. Leistungsdiagnostik

BG Unfall-Ambulanz u. Reha-Zentrum am Airport Bremen

Vibration

- **Gemeinsames Merkmal aller derartigen Interventionen ist eine mechanische Stimulation von außen, bei der Schwingungen durch den Körper geleitet werden**
- **Der Körper reagiert auf diese Stimulierung als ein „aus mechanischer Sicht [...] mehrfach massen- und federgekoppeltes Oszillatorensystem“ mit einer Vielzahl von Adaptationsmechanismen. Voraussetzung für diese Mechanismen ist die Funktion des Körpers als ein „frequenzselektiver Filter bezüglich des endogenen Schwingungstransfers“ [Haas u.a. 2004].**
- **„Besteht ein hoher Gewichtsanteil (z.B. beim Stehen, Sitzen oder Liegen auf einem vibrierendem Untergrund), liegen Ganzkörperschwingungen vor, ist ein geringerer Anteil vorhanden (z.B. beim Halten eines vibrierenden Gegenstands), werden Teilkörperschwingungen appliziert [Haas u.a. 2004].**
- **I.d.R. wird von einem bipedalen Stand auszugehen sein; dabei wirken die trainierenden und stimulierenden Effekte v.a. auf die unteren Extremitäten [Huber 2006]**

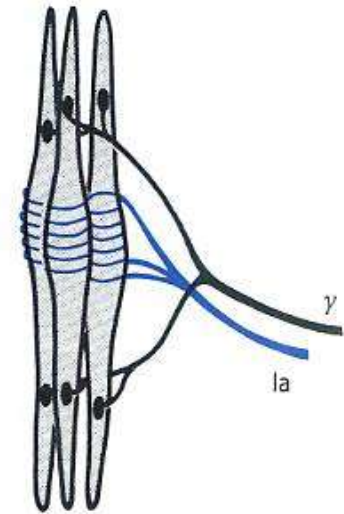
Einflussgrößen des Vibrationstrainings

- Art der Vibration
- Amplitude, Frequenz
- Körperposition auf der Plattform
- Belastungsparameter (Trainingsdauer, Belastungsdichte, Belastungsumfang u. –häufigkeit)
- mit/ohne Zusatzgewicht
- Prinzip der Individualität
- Diagnose

Akute kurzfristige Effekte

- Kraftzuwächse von 5-10 % nach Trainingsvorgaben von 10mal eine Minute bei 26 Hz [Bosco u.a. 2000; Cochrane u. Stannard 2005; Issurin u. Tenenbaum 1999]
- Steigerung der Ausschüttung von Testosteron u. Wachstumshormon (460 %!) [Bosco u.a. 2000]

Tonic Vibration Reflex (TVR)



- Zentraler Auslösemechanismus der Wirkungen des Vibrationstrainings ist der „TVR“ [Matthews 1966; Hagbarth u. Eklund 1966]
- Durch die zyklische Vibrationsbelastung werden über die Muskelspindeln (MuS) u. Golgi-Apparate Muskeldehnungsreflexe ausgelöst, die zu einer erhöhten Rekrutierung u. gleichzeitigen Aktivierung der durch das Training angesprochenen motorischen Einheiten führt.
- MuS spielen eine zentrale Rolle für die muskuläre Absicherung der aufrechten Haltung. Vibrationen lösen muskuläre Aktivität und nachfolgende Anpassungserscheinungen aus.
- Dadurch entsteht eine Interaktion zwischen den afferenten 1a-Fasern, die eine beständige Längenveränderung der angesprochenen Muskulatur melden, und den efferenten (Gamma-) Fasern.
- Das Ziel besteht nun darin, die Schwingung zu dämpfen und auszugleichen und dadurch die Konstanz der aufrechten Haltung zu erhalten [van Diemen 2002]

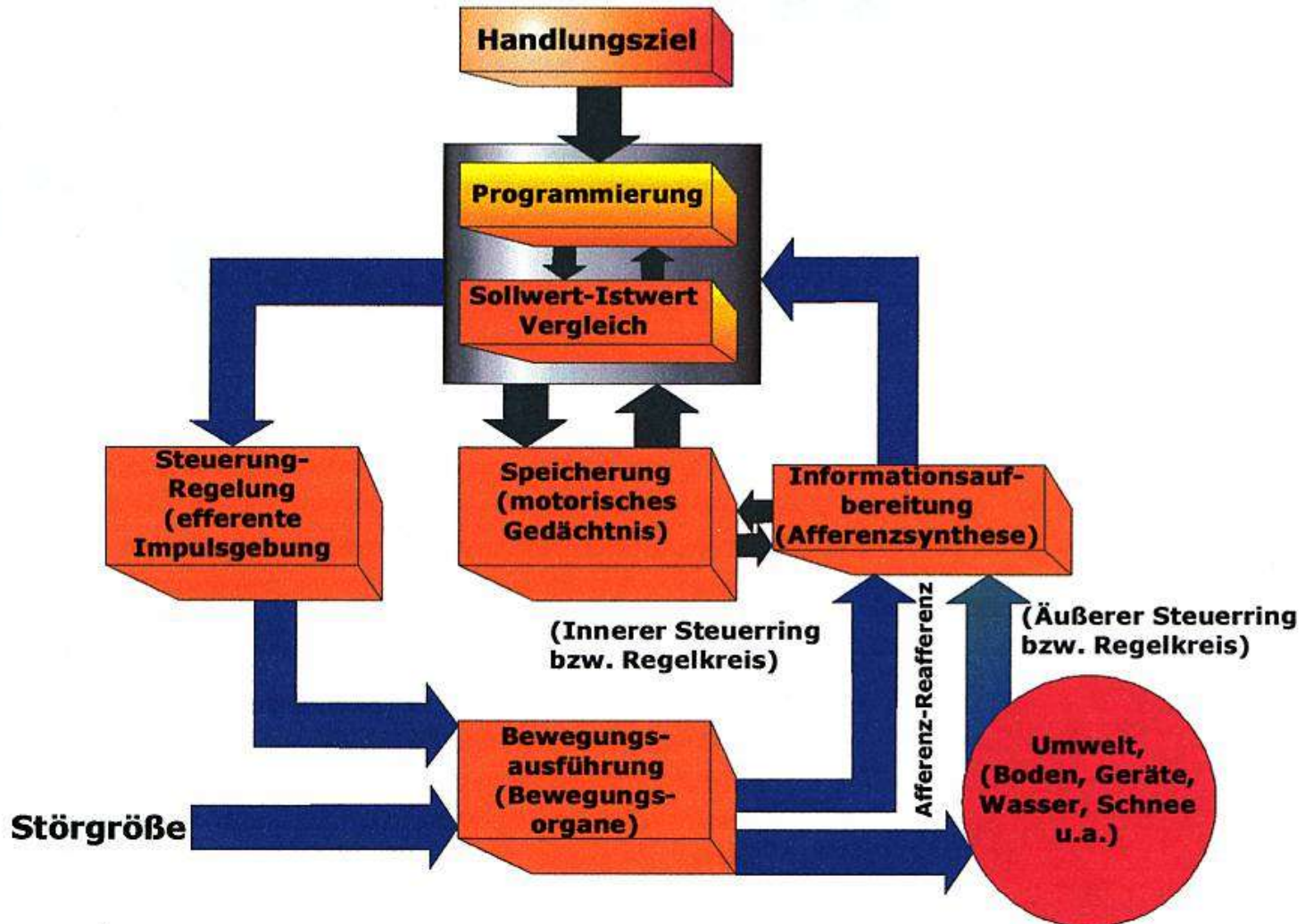
Tonic Vibration Reflex (TVR)

- Es kann gesichert davon ausgegangen werden, dass das Vibrationstraining über den TVR zu einer erhöhten Kraftentwicklung während des Trainings in Abhängigkeit von der gewählten Frequenz und der Trainingsform führt.
- In diesem Zusammenhang sind zahlreiche Publikationen verfügbar, die die Leistungsoptimierung durch ein Vibrationstraining belegen [Cochrane u. Stannard 2005; Delecluse u.a. 2003]

Anpassungen des neuromuskulären Systems

- Die Optimierung der motorischen Kontrolle , die verbesserte Rekrutierung von bisher ungenutzten motorischen Einheiten stellen die zentralen Wirkungsmechanismen des Vibrationstrainings dar [Issurin u. Tenenbaum 1999] → TVR
- Über gezielte Vibrationsreize werden biochemische Substanzen (neurotrophe Faktoren) freigesetzt, die der Degeneration u. dem Funktionsverlust von Nervenzellen entgegenwirken sowie für neue Verknüpfungen von Nervenzellverbänden sorgen [Haas u.a. 2006]

Anpassungen des neuromuskulären Systems



[Meinel u. Schnabel 1998, 42]

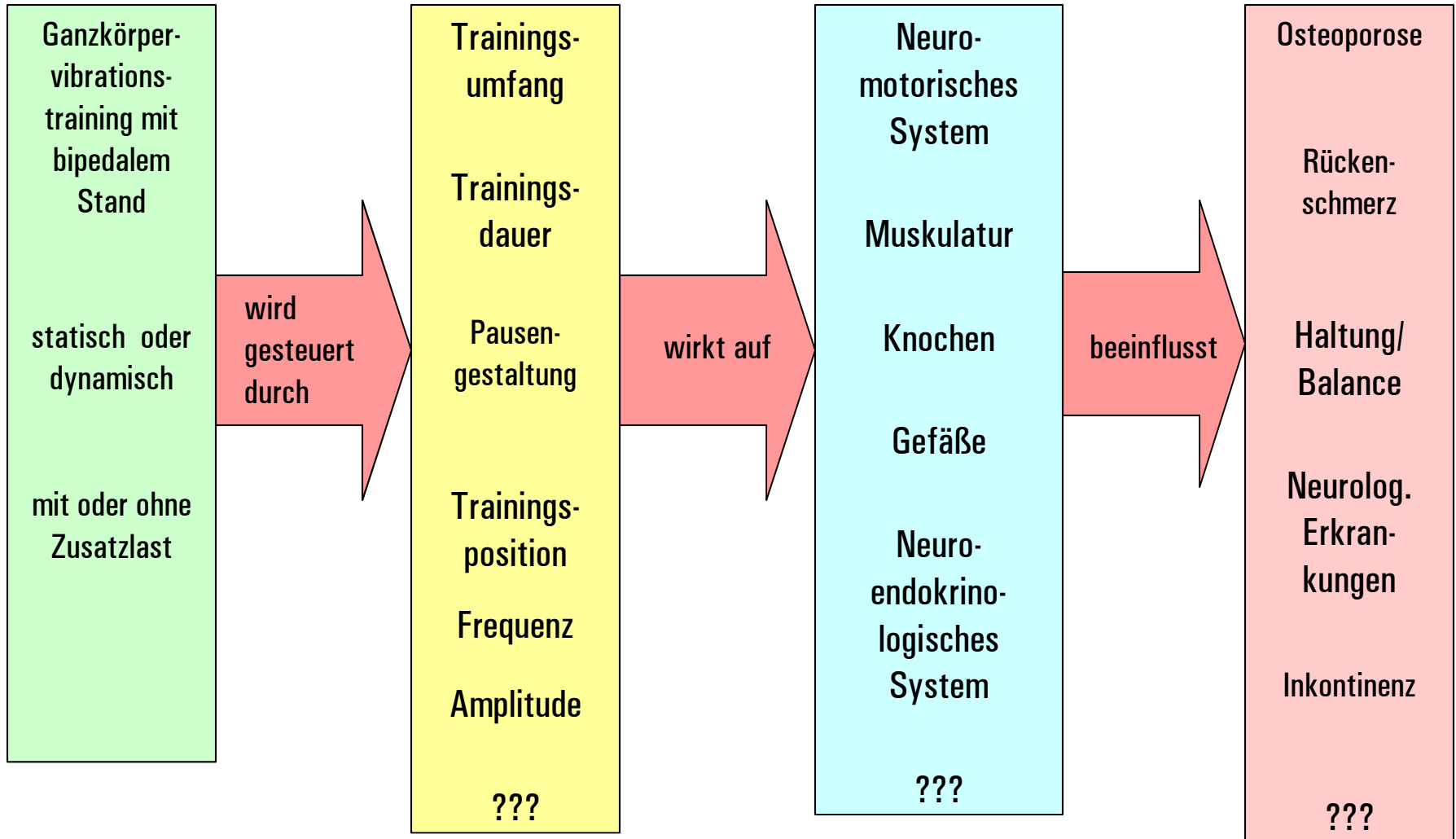
Anpassungen des Knochens

- Qualität und Quantität der Knochenstruktur sind von den durch die jeweils angreifende Muskulatur ausgeübten Druck- u. Zugreizen sowie von den einwirkenden Torsionskräften und der Erdgravitation (Dehnung u. Stauchung) abhängig [Torvinen 2003].
- Vibrationsreize scheinen besonders geeignet, diesen osteogenetischen Effekt auszulösen.
- Grundlegende tierexperimentelle Studien zeigen, dass sich mit einem intensiven Vibrationstraining (20 min 5mal/Woche) ein Zuwachs von 32 % Knochendichte in den trabekulären Strukturen des Femurs erreichen lässt.
- Durch Vibrationstraining (25 Hz) konnte der Verlust an Knochendichte bei 70 postmenopausalen Frauen nach einem Jahr Training nahezu vollständig aufgehalten werden, während sich die Knochendichte in der Kontrollgruppe um mehr als 2 % reduzierte [Rubin u.a. 2004]
- Verschueren u.a. [2004] berichtet sogar von einem Zuwachs an Knochendichte nach einem intensiverem Training (35 Hz)

Anpassungen von Gefäßen u. Stoffwechselfvorgängen

- Trainierende berichten von einer wahrgenommenen Weitung der Gefäße nach Vibrationsapplikation
- Es wird davon ausgegangen, dass der Anstieg des peripheren Widerstands zu einer Öffnung der Kapillargefäße führt, um die Energieversorgung und die Stoffwechselfvorgänge in der angesprochenen Muskulatur zu erhalten [Mester u.a. 2006]
- Stewart u.a. [2005] konnten diesen signifikant verbesserten „fluid flow“ (arterieller u. venöser Blutfluss, Lymphe) nach einem Vibrationstraining nachweisen

Modellvorstellung der Einflussfaktoren beim Vibrationstraining



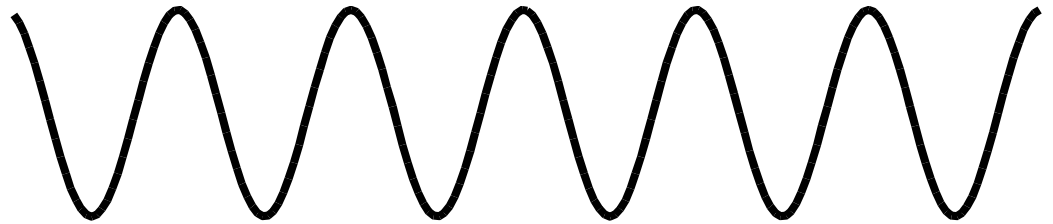
[aus Huber 2006, 48]

Stochastische Resonanz Vibration

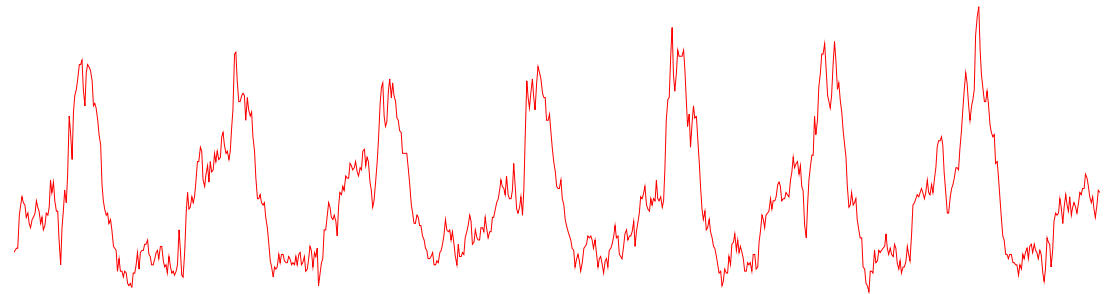
- Stochastische Resonanz Vibration folgt dem physikalischen Gesetz, wonach Signale vom Körper (den Zellen) besser verstanden werden, wenn diese Signale (Reize) „verrauscht“ sind.
- Dabei wird ein charakteristisches Bündel von Schwingungsreizen in den Körper geleitet
- Hierbei wird ein schwacher Grundreiz (Trägersignal) durch sogenannten „Noise“ (chaotisches Zusatzsignal) verstärkt

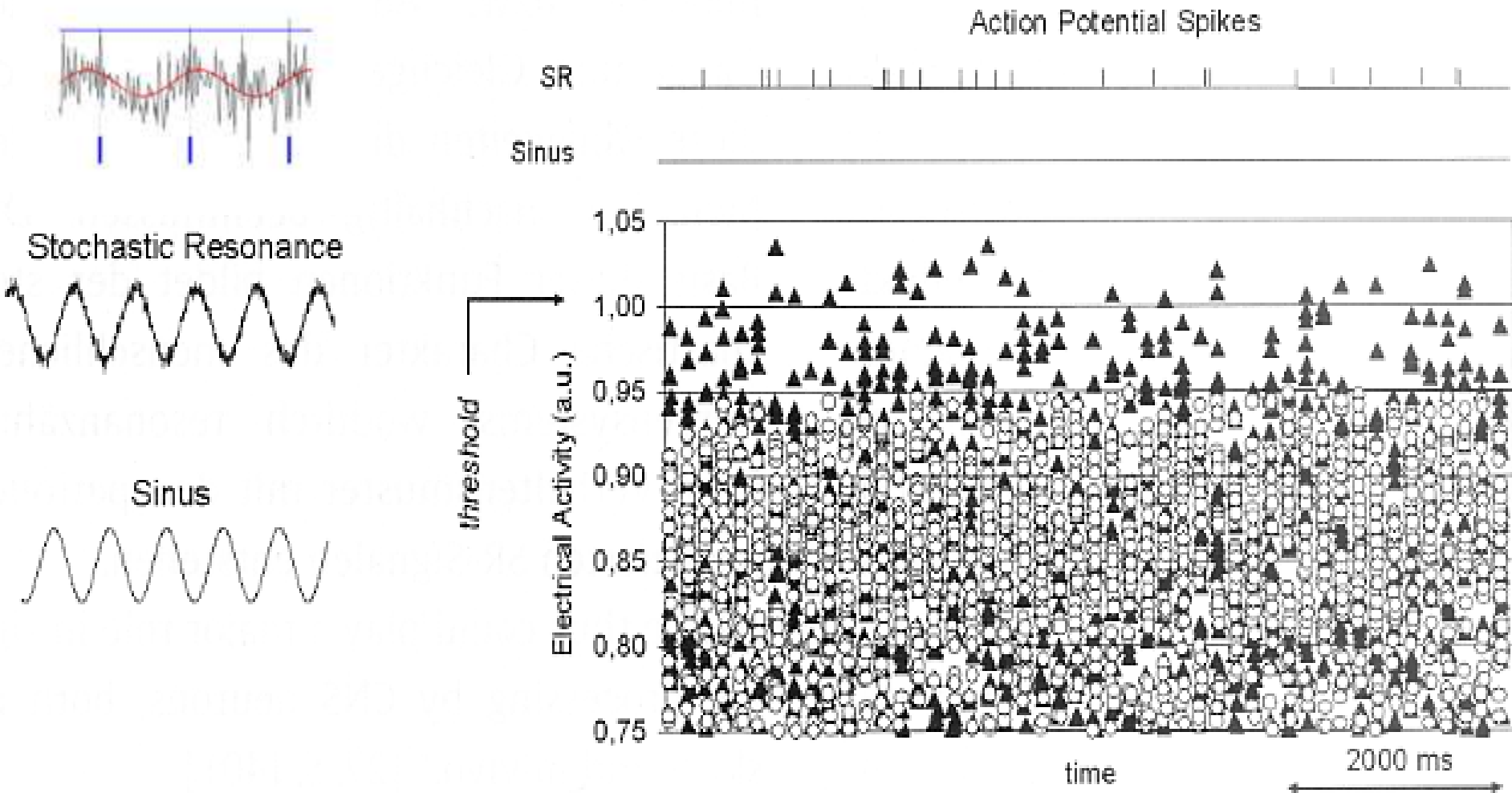
Stochastische Resonanz Vibration

Sinusförmig:



Stochastische Resonanz:





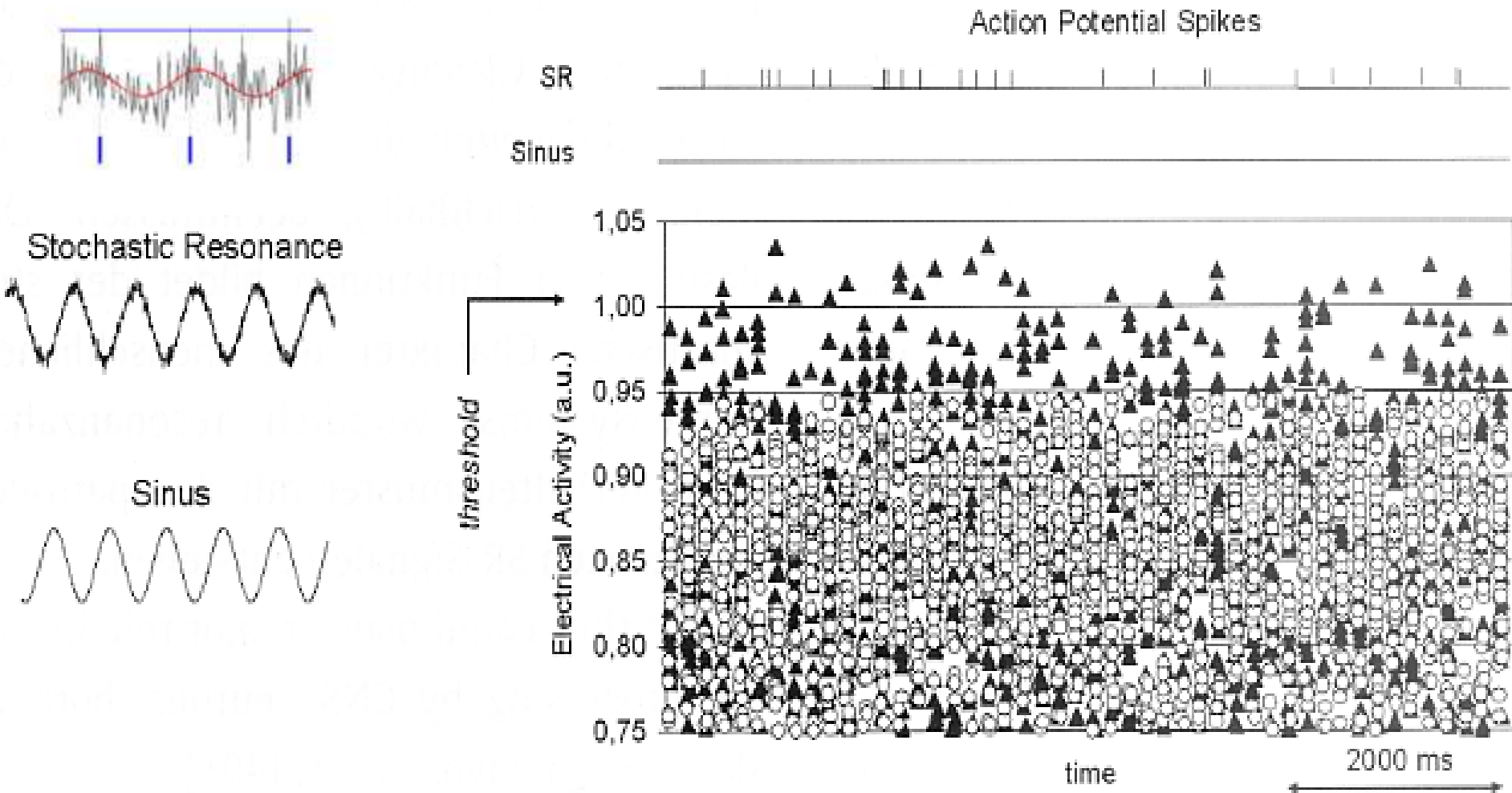
Nervenzellmodell, das mit Sinussignalen (○) bzw. SR-Signalen (▲) gereizt wird. Während Sinusstimuli unerschwellig bleiben, werden durch Stochastische Resonanzen Aktionspotentiale ausgelöst

Stochastische Resonanz (SR) Vibration

- Die andauernde, aber nicht vorhersehbare Veränderung der SR-Signale führt zu beständigen, geringen Störungen des Gleichgewichts.
- Bei Wiederholung lernt der Mensch, muskuläre Aktivierungsmuster zu erzeugen, um die Störeinflüsse möglichst erfolgreich zu kompensieren.
- Wären die Vibrationsreize immer die gleichen (z.B. Sinusschwingungen), so wären die Antworten der Rezeptoren in der Muskulatur, den Sehnen u. 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 Resonanz (SR) Vibration

- Zudem interagieren die SR-Vibrationssignale mit ebenfalls stochastischen Funktionsparametern des Nervensystems, woraus resonanzähnliche Verhaltensweisen resultieren.
- Der stochastische Anteil von SR-Signalen tritt in eine kurzfristige Quasi-Resonanz mit dem stochastischen Verhalten der Nervenzelle
- Hierdurch können – im Gegensatz zu einem linearen Signal – Reizschwelle von Nervenzellen einfacher überschritten werden.
- Auf diesem Wege werden bereits geringe Reizintensitäten vom Patienten wahrgenommen und **neuromuskuläre** Aktivitäten erzeugt.
- Liu u.a. [2002] und Khadhiar [2003] zeigten, dass die Wahrnehmungsfähigkeit von mechanischen SR-Reizen bei älteren Personen, Schlaganfall- u. Neuropathiepatienten im Vergleich zu Sinussignalen um 16-34 % erhöht ist.



Nervenzellmodell, das mit Sinussignalen (○) bzw. SR-Signalen (▲) gereizt wird. Während Sinusstimuli unerschwellig bleiben, werden durch Stochastische Resonanzen Aktionspotentiale ausgelöst

Stochastische Resonanz (SR) Vibration

- Ferner ergeben sich Hinweise, dass eine periphere Stimulation zu biochemischen Reaktionen in supraspinalen Strukturen führen kann.
- So ist über eine Reizung der Muskelspindeln, die eine hohe Sensitivität für SR-Stimuli aufweisen, die Freisetzung neurotropher Faktoren wie z.B. Dopamin möglich [Fallon u.a. 2004]
- Diese Substanzen erfüllen insbesondere neuroprotektive und neurorestorative Funktionen, wodurch Potenzial für bessere Kontrolle und Therapie neurodegenerativer Krankheitsbilder wie M. Parkinson, MS oder Amyotrophe Lateralsklerose geschaffen wird.

Stochastische Resonanz (SR) Vibration

- Im Hinblick auf die Anregung des *Knochenwachstums* führen SR-Vibrationsreize im Vergleich zu niederfrequenten mechanischen Sinusschwingungen mit gleicher Trägerfrequenz zu rund 4-fach größeren Wachstumsvorgängen.
- 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 (Osteoporose; Frakturrisiko)

SRT – Zeptoring

- ausgewählte Funktionsmechanismen

Stochastische Resonanz:

- Variable, nicht antizipierbare Reizsetzung; ermöglicht das Ansprechen unterschiedlicher Sensorsysteme; verbessert die Wahrnehmungsfähigkeit der Sensorsysteme; verbessert die neuronale Informationsselektion u. – verarbeitung; verbessert die Knochenfestigkeit



SRT – Zeptoring

- ausgewählte Funktionsmechanismen

Theta-Trägerfrequenz (3,5 – 7,5 Hz):

- Anregung zur Freisetzung neuronaler Wachstumsfaktoren (neurotropher Faktoren) und Förderung des Nervenzellwachstums; Vermeidung kinästhetischer Illusionen (Wahrnehmungsstörungen)



SRT – Zeptoring

- ausgewählte Funktionsmechanismen

Alpha-Trägerfrequenz (7,5 – 12,5 Hz):

- Training „unter Zeitdruck“; fördert das schnelle Ansprechen der Muskulatur; optimiert das schnelle Einleiten protektiver Schutzkontraktionen in kritischen Alltagssituationen (z.B. Sturz)



SRT – Zeptoring

- ausgewählte Funktionsmechanismen

Multidimensionale Reizsetzung:

- Durch multiple Freiheitsgrade erfolgt die Reizsetzung in allen drei Raumdimensionen, wodurch eine ideale Übertragung der Trainingseffekte auf motorische Anforderungen im Alltag und beim Sport erfolgen kann.



SRT – Zeptoring

- ausgewählte Funktionsmechanismen

Bypassing:

- Unwillkürliche, reflexartige Aktivierung der Muskulatur; ermöglicht die Erzeugung wirksamer Trainingsreize auch bei eingeschränkter oder ohne willkürliche Aktivierungsfähigkeit



Beispielhafte Indikationen und Effekte

SRV-Effekte zur Sturzprophylaxe

- Verbesserung der sensorischen Signalverarbeitung
- Erhöhung der Bewegungssicherheit
- Verbesserung der Gleichgewichtsregulation und des Gangmusters
- Erhöhung des willkürlichen Aktivierungspotenzials

30 % bessere Wahrnehmung



Hohe Bewegungssicherheit im Alltag (Note 1-6)



SRV-Effekte bei Osteoporose

- Massive Erhöhung des Knochenstoffwechsels und der Festigkeit
- Veränderung der Knochenstruktur durch mehrdimensionale mechanische Reizung
- Reflexauslösung durch neuromuskuläre Reizung
- Erhöhung der Bewegungssicherheit u. Reduktion des Sturzrisikos
- Verbesserung der Gleichgewichtsregulation
- Verbesserung des Gangmusters
- Verringerung des Frakturrisikos

390 % höheres Knochenwachstum

SRV

Sinusschwingung

Cave:

- WS-Röntgenaufnahme sowie Knochendichtemessung sind Voraussetzung für SR-Therapie, damit Erkrankungen (osteoporotische Frakturen, maligne Prozesse) ausgeschlossen werden können. In diesen Fällen ist die SR-Therapie kontraindiziert.
- Keine Schmerzen während der SR-Therapie
- Keine Schmerzen Stunde oder Tage als Reaktion auf die SR-Therapie
- Nach 6-12 Monaten sind erste Veränderungen der Knochendichte nachweisbar

SRV-Effekte bei chronischem Schmerz

- Deutliche Schmerzreduktion
- Verbesserung der Körperwahrnehmung
- Generierung unwillkürlicher muskulärer Aktivierungen
- Optimierung des unbewussten Zusammenspiels verschiedener Muskelgruppen
- Vermeidung von Folgeschäden

Hohe Wirksamkeit zur Reduktion chronischer Rückenschmerzen



SRV-Effekte bei orthopädischen Läsionen

- Verbesserung der Gleichgewichtsregulation
- Schnellere muskuläre Aktivierbarkeit
- Verbesserte Verarbeitung der sensorischen Signale
- Erhöhung des willkürlichen Aktivierungspotenzials
- Erhöhung der Bewegungssicherheit
- Verbesserung des Gangmusters

35 % besseres Gleichgewicht (medial/lateral)

SRV

Konservative Therapie

43 % besseres Gleichgewicht (anterior/posterior)

SRV

Konservative Therapie

Frakturen

regelmäßige Röntgenkontrollen sind verpflichtend

- Schenkelhalsfrakturen (konservativ versorgt)
 - Teilbelastung ist Voraussetzung für SRT
- Patellafraktur
 - SRT nur in voller Knie-Ext bzw. Hyperext.
 - Beginn 14 Tage posttraum./post-Op.
- Kniegelenksnahe Frakturen
 - Durch speziellen Stand können die Frakturbereiche entlastet werden
- Unterschenkelfrakturen (operativ u. konservativ versorgt)
 - SRT bei Beginn Teilbelastung möglich
- Frakturen im Fußbereich
 - SRT bei Beginn Teilbelastung möglich

Kapsel-, Band-, Sehnenverletzungen der unteren Extremitäten

- **Meniskusverletzungen**
 - SRT-Beginn bereits wenige Tage post-Op. in 10-15° Knie-Flex
- **Kreuzbandverletzungen**
 - SRT-Beginn 6 Wochen post-Op. in 10-15° Knie-Flex (keine volle Streckung)
- **Bandplastik im OSG**
 - SRT-Beginn 3 Wochen post-Op.
- **Achillessehnenriss operativ versorgt**
 - SRT-Beginn 6 Wochen post-Op.

Endoprothesen des Hüft- u. Kniegelenks

- Endoprothese Hüftgelenk und Kniegelenk
 - Bei zementierten Prothesen kann 14 Tage post-Op. mit der SRT begonnen werden
 - Bei zementfreien Prothesen kann die SRT 6 Wochen post-Op. erfolgen
 - Keine Schmerzen während der Behandlung
 - Regelmäßige Röntgenkontrollen

Morbus Sudeck

- Syn.: Sympathische Reflexdystrophie
 - Lokale Stoffwechsellage unter besonderer Mitwirkung neuronaler Strukturen im Bereich der oberen oder unteren Extremitäten, ausgelöst durch unterschiedliche Ursachen wie Trauma oder Operation
 - SRT ist hier in der Lage, die Erkrankung durch Aktivierung und verstärkte Ausschüttung neurotropher Substanzen sowie Reaktivierung neuronaler Netzwerke positiv zu beeinflussen
 - Je nach Zst. der betroffenen Extremität die SRT unter Teil- oder Vollbelastung erfolgen.
 - **Bei Betroffensein der Arme können diese auf den Standflächen aufgestützt werden**

SRV-Effekte bei Neuropathie/Diabetes

- Verbesserung der sensorischen Wahrnehmung
- Verbesserung der Reflexsteuerung
- Verbesserung des Gleichgewichts
- Wiederherstellung der Gehfähigkeit
- Sturzprophylaxe

34 % bessere Wahrnehmung

SRV

Konservative Therapie

SRV-Effekte nach Schlaganfall u. Schädel-Hirn-Trauma (bei Paresen)

- Erhöhung des willkürlichen muskulären Aktivierungspotenzials
- Verbesserung der sensorischen Wahrnehmung
- Generierung unwillkürlicher muskulärer Aktivierungen
- Wiederherstellung u. Verbesserung der Gehfähigkeit und des Gleichgewichts
- Förderung der Reorganisation nervaler Zellverbände
- Neuroprotektion

40 % bessere Aktivierungsfähigkeit

SRV

Konservative Therapie

SRV-Effekte bei MS und ALS

- Verbesserung des Gleichgewichts
- Verbesserung der Reflexsteuerung
- Verbesserung der Gehfähigkeit
- Sturzprophylaxe
- Neuroprotektion (Schutz des Nervensystems)
- Verbesserte Funktionalität nervaler Zellverbände)

27 % besseres Gleichgewicht

SRV

Konservative Therapie

SRV-Effekte bei M. Parkinson

- Reduktion des Rigors u. des Tremors
- Massive Verbesserung der Bewegungssicherheit und Erhöhung der Lebensqualität
- Verbesserung von Gang u. Gleichgewicht
- Reduktion von Brady-/Akinese

24 % verringerter Rigor

SRV

Konservative Therapie

25 % verringerter Tremor

SRV

Konservative Therapie

Kontraindikationen

Orthopädische Aspekte:

- Akute Entzündungen
- Frischer Bandscheibenvorfall
- Frische Fraktur
- Frische eingesetzte Endoprothesen
- Stark fortgeschrittene Osteoporose mit akutem Frakturrisiko

Kontraindikationen

Neurologische u. psychiatrische Aspekte

- Tiefenhirnstimulation (bei M. Parkinson)
- Schizophrenie
- Epilepsie
- Wahrnehmungsstörungen
- Schwindel

Kontraindikationen

Kardiologische Aspekte

- Herzschrittmacher
- Stark ausgeprägte Hyper- oder Hypotonie
- Aneurysma (arterielle Gefäßausweitungen)
- Ausgeprägte Herz-Rhythmusstörungen

Kontraindikationen

Andere Aspekte

- Übelkeit und Unwohlsein
- Tumore/Metastasen
- Schwangerschaft

SR-Vibration:

Hausinterne Indikationen

- Osteoporose
- WS-Beschwerden bei muskulärer Dysbalance
- Frakturen (Voraussetzung: Vollbelastung, Callusbildung vorhanden)
 - Patella, Frakturen im Kniegelenkbereich, US-Frakturen, Frakturen im Fußbereich
- Kapsel-Band-Verletzungen KG (6 Wochen post OP)
- Kapsel-Band-Verletzungen OSG (3 Wochen post OP)
- Meniskusverletzungen (3 Wochen post OP)
- Zst.n. Achillessehnenruptur (6 Wochen post OP)
- Arthrosen untere Extremitäten
- Morbus Sudeck
- Inkomplette Querschnitte
- Ataxie, Gleichgewichtsstörungen (bei Schädel-Hirn-Traumen)

Vibrationstraining in der Therapie unter besonderer Berücksichtigung der Stochastischen Resonanz

S Dalichau

Institut f. angewandte Prävention u. Leistungsdiagnostik

BG Unfall-Ambulanz u. Reha-Zentrum am Airport Bremen