



Karl Landsteiner Institut  
für Neurorehabilitation  
und  
Raumfahrtneurologie

Austrian Society for  
Aerospace Medicine  
Life Sciences in  
Space



### Raumfahrtmedizin mit besonderer Berücksichtigung der Raumfahrtneurologie Spin-off Effekte für die Neurorehabilitation

F. Gerstenbrand<sup>1), 2)</sup>, Wien  
St. Golaszewski<sup>3)</sup>, Salzburg, G. Pichler<sup>4)</sup>, Graz

<sup>1)</sup> Universitätsklinik für Neurologie, Innsbruck

<sup>2)</sup> Karl Landsteiner Institut für Neurorehabilitation und Raumfahrtneurologie

<sup>3)</sup> Neurologische Klinik der Christian Doppler Universität Salzburg

<sup>4)</sup> Albert-Schweitzer-Klinik, Graz

68. Treffen der Emeriti und im Ruhestand befindlichen  
Universitätsprofessoren der  
Medizinischen Universität Innsbruck  
5. Mai 2010  
Innsbruck

### Raumfahrtneurologie Aufgabenbereich

- Forschung über den Einfluss der fehlenden Schwerkraft auf das propriozeptive System des Menschen
  - echte Schwerelosigkeit (real microgravity)
  - simulierte Schwerelosigkeit (simulated microgravity)
- Erforschung des Bedrest-Syndroms
- Erforschung des Kosmonauten-/Astronauten-Syndroms
- Verwendung der Forschungsergebnisse in der akuten Neurologie und der Neurorehabilitation

### Folgen durch die Störung bzw. den Ausfall der Schwerkraftrezeptoren in der Schwerelosigkeit (echt, simuliert)

- Beeinträchtigung der Funktion des propriozeptiven Systems (Afferenz-System)
- Beeinträchtigung der Motorik in allen Bewegungsabläufen (Efferenz-System)
- Störung der aufrechten Haltung und der Bewegungen
- Störung der höchsten Hirnleistungen (Koordination, Assoziation, Kritik, emotionelle Kontrolle, etc.) sowie der Vigilanz

### Voraussetzungen für bemannte Weltraummissionen

- Entwicklung von technischem Equipment
- Kommunikationssysteme
- Lösung biomedizinischer Probleme in der bemannten Raumfahrt
  - Biophysikalische Exposition
  - Psychosoziale Einflüsse
  - Weltraumstrahlung
- Abschirmung des Weltraumstrahlungseffektes an technischem Equipment und biologischen Strukturen
- Beachtung des Kristallisationsphänomens

### Voraussetzungen für Aktivitäten des Menschen im Weltraum

- Organisation von Space Agencies
- Gründung einer Internationalen Raumfahrtorganisation
- Kooperation von nationalen und regionalen Weltraumorganisationen (NASA, ESA, Japanese Space Agency, Chinese Space Agency, Russian Space Agency - IBMP)
- Forschungsprogramme für den bemannten Raumflug
- Forschungsprogramme in "Ground Based Laboratories"
- Aufbau einer Orbit-Station
- Vorbereitung von Mondmissionen mit Mond-Laboratorium
- Vorbereitung einer bemannten Marsmission

### Forschung in der bemannten Raumfahrt

- Beruht auf der
  - biologischen Prädisposition für den Aufenthalt eines Menschen außerhalb der normalen Schwerkraft
  - physiologischen Adaption in der Schwerelosigkeit (microgravity)
  - pathophysiologischen Vorbereitungsphase für einen Raumflug
  - Erforschung der pathophysiologischen Reaktion während des Raketenstarts
  - Erforschung der pathophysiologischen Probleme während des Raumflugs
  - Forschung über das Verhalten und die Körperfunktionen nach Rückkehr in die normale Erdatmosphäre

### Erste Intentionen: Militärische Raumfahrt



### Forschung in der echten Schwerelosigkeit (real microgravity)

- Einfluss der Schwerelosigkeit auf Menschen, Tiere, Pflanzen und biologisches Material
- Entwicklung eines speziellen Equipments für Menschen während des Raumflugs
- Kommunikationssystem zwischen dem Kontrollzentrum und der Besatzung im Weltraum
- Einfluss von psychosozialen Faktoren im Weltraum
- Einfluss der Weltraumstrahlung auf biologisches und technisches Material

### Kontrollsystem der Orbit-Station Moskau

*„Our job is not only to make sure astronauts can function adequately in space, but also that they can function on their return to earth.“ (Frank Sulzmann)*



Quelle: G. Gerstenbrand

### Weltraummedizin Untersuchung des Einflusses der Schwerelosigkeit auf den Menschen

- Erforschung der biomedizinischen Probleme
  - Hirnfunktionsstörungen, Weltraumneurologie
  - Menschliche Leistungsfähigkeit, Schlaf- und Chronobiologie
  - Kardio-vaskuläre Veränderungen
  - Einfluss auf den Gastro-Intestinaltrakt
  - Immunologie, Infektiologie, Hämatologie
- Entwicklung von Geräten und Programmen für Gegenmaßnahmen in der Schwerelosigkeit

### Statement zum bemannten Raumflug

Wernher von Braun, 1951:

*“I believe that the time has arrived for medical investigation of the problem of manned rocket flight, for it will not be the engineering problems but rather the limits of human frame. That will make the final decision as to whether manned spaceflight will eventually become a reality.”*

### Geschichte der Raumfahrtmedizin 1

- Übernahme der Erfahrungen aus der Luftfahrtmedizin
- Forschung in der Trainingszentrifuge
- Forschung im Raketenschlitten
- Erste Abteilung für Raumfahrtmedizin in Randolphville, Texas, USA
- Institute for Biomedical Problems (IBMP), Moskau, Russland
- Tierexperimente im Orbit (IBMP Moskau – Laika, erster Hund im Weltraum)





Laika, 3. November 1957



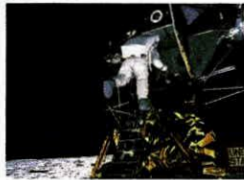
„Ham the Astrochimp“, 31. Jänner 1962

## Geschichte der Raumfahrtmedizin 2

- Erster bemannter Raumflug 12. April 1961, Juri A. Gagarin, Weltraumkapsel Wostok 1
- A. Shepard erster Amerikaner im Weltraum, 5. Mai 1961
- Erster Weltraumspaziergang: Alexei Leonov, 18. März, 1965
- Erste Mondlandung, 16. Juli 1969
- Erster Mondspaziergang, 20. Juli 1969, Neil Armstrong
- Weltraumstation "MIR" (Basismodul) in den Weltraum geschickt, 20. Februar 1986
- ISS – Beginn des Aufbaus 20. November 1989
- Bemannte Marsmission in Vorbereitung



Neil Armstrong, 1969



Buzz Aldrin, 1969



MIR,  
wurde am 23. März 2001 aufgelassen

Start einer Soyuz TMA-5



International Space Station (ISS) aufgebaut und verwendet von USA, Russland und Europa

## Kosmonautenausbildung Moderne Trainingszentrifuge



Quelle: Yuri Gagarin Cosmonauts Training Center

## Kosmonautenausbildung Trainingszentrifuge



F. Gerstenbrand  
In der Trainingszentrifuge  
im Kosmonauten-  
Ausbildungszentrum  
Moskau 1988

## Leben in der MIR



Österreichischer Kosmonaut Franz  
Viehböck gemeinsam mit der russischen  
Crew 1991

## Leben in der MIR



Kosmonauten in der MIR,  
Freizeit



"Essenszeit"

## Gegenmaßnahmen zur Vermeidung neurologischer und anderer Ausfälle in der echten Schwerelosigkeit

- Laufbandübungen
  - Fixes tägliches Programm
- Spezielle Übungen mit Armen und Beinen
- Adaptation der Feinmotorik
  - Zielgerichtetes Training
- Adaptationstraining der kognitiven Funktionen
- Kosmonautenhosen mit Elektroden zur Stimulation der Muskulatur und der peripheren Nerven, stundenweises Tragen
- Raumfahrtanzug "Penguin suit", stundenweises Tragen

## Maßnahmen in der echten Schwerelosigkeit



Kosmonauten in der MIR beim Training

## Maßnahmen in der echten Schwerelosigkeit



Kosmonautenhosen: Stimulation  
von Muskulatur und Hautrezeptoren



Penguin-Suit, mehrere Stunden am Tag  
getragen. Jede Bewegung muss gegen  
den Widerstand des Anzugs  
durchgeführt werden.



## Forschung in der Schwerelosigkeit

- Echte Schwerelosigkeit
- Parabel-Flüge
- Simulierte Schwerelosigkeit  
– “Ground based laboratory”

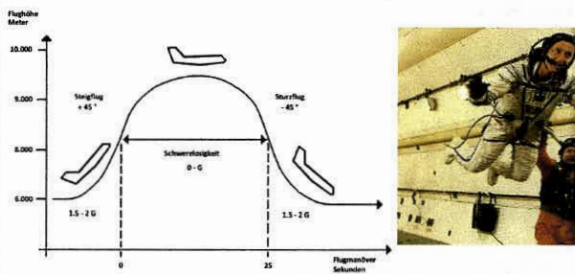
## Forschungsexperiment in der echten Schwerelosigkeit



Bewegungsübungen  
unter EMG-Kontrolle

Quelle: <http://images.jsc.nasa.gov/images/pao/STS44>

## Kurzfristige Schwerelosigkeit Parabel-Flug



Schwerelosigkeit besteht nur für einige Sekunden.  
Nur vermindertes Forschungsprogramm möglich.

Simulierte Schwerelosigkeit für Vorbereitungstraining  
und für Forschungszwecke im Ground based laboratory  
Spezielles Equipment notwendig

- Methoden
  - Bedrest-System
    - Head down tilt-system – HDT
  - Entlastung des Körpergewichtsdrucks  
(body weight discharge)
  - Dry water immersion model –  
DWI-Methode

## Simulierte Schwerelosigkeit Untersuchungsmodelle



“Head down tilt”-Position (HDT),  
“bedrest method”



Unilaterale Gewichts-  
verminderung - body  
weight discharge

## Simulierte Schwerelosigkeit Dry water immersion model – DWI-Methode



Gesunder Proband, Experiment über 72 Stunden, begleitende neurologische  
Überwachung. Neurospace Institute Innsbruck

### Simulierte Schwerelosigkeit Dry water immersion model – DWI-Methode



Neurospace Institute Innsbruck  
2 gesunde Probanden, Experiment  
über die Dauer von 48 Stunden



Gesunder Proband, Transport zur  
täglichen Hygiene

### Simulierte Schwerelosigkeit Dry water immersion model – DWI-Methode Neurospace Institute Innsbruck



Vorbereitungsphase,  
EMG-Kontrolle



Übungsphase



Experimentphase

Experiment zur Übung einer exakten Treffsicherheit bei bewegten Zielen

### Simulierte Schwerelosigkeit Dry water immersion model – DWI-Methode Ground based laboratory IBMP, Moskau



Untersuchung der Optomotorik



Untersuchung der Haltungs- und  
Stellreflexe

Neurologische Untersuchung, gesunde Probanden  
Experimentdauer: 72 Stunden

### Raumfahrtneurologie

- Forschungsinhalt: Einfluss der Schwerelosigkeit
  - Echte Schwerelosigkeit, Station im Orbit (ISS)
    - Einfluss auf das propriozeptive System
    - Einfluss auf das vestibuläre System (otolith system)
  - Simulierte Schwerelosigkeit, ground based laboratory
    - Einfluss auf das propriozeptive System
- Verwendung der Forschungsergebnisse in der Neurologie
  - Diagnostik in der Akutneurologie
  - Neurorehabilitation
- Entwicklung neuer Methoden und Entwicklung neuer Medizingeräte
  - Diagnostik in Akutneurologie und Neurorehabilitation
  - Therapie in der Neurorehabilitation

### Neurologische Störungen in der echten Schwerelosigkeit

- Störungen während der Startphase, 0 G → 3,8 G, Anpassung an die echte Schwerelosigkeit
  - Space Adaptation Syndrome
- Neurologische Störungen während der Raumfahrtmissionen
  - Kosmonauten-/Astronauten-Syndrom
  - Auftreten von verdeckten neurologischen Störungen (Symptome)

### Space Adaptation Syndrome (Startphase)

- Störungen des vestibulären Systems (Vertigo, Nausea, vegetative Symptome)
- Störungen der Motorik (Hypermetrie, Dysmetrie, etc.)
- Optomotorische Störungen
- Störungen des propriozeptiven Systems
  - Körperschemaveränderung
  - Pseudoapraxie



## Kosmonauten-Syndrom (Astronauten-Syndrom)

- Primäre Muskelatrophie (Veränderungen der Muskelenzyme)
- Polyneuropathie
- Störungen des propriozeptiven Systems (Fehler in der Vibrationsperzeption, Fehleinschätzung der Gelenkpositionen, Hypo-/Areflexie, spinale Ataxie)
- Thalamische Störungen
- Störungen in motorischen Programmen (Augen-Kopf-Koordination, etc.)
- Cerebelläre Ataxie
- Veränderungen im Körperschema
- Herabsetzung der Vigilanz
- Vegetative Dysregulation
- Osteoporose

## Bedrest-Syndrom (simulierte Schwerelosigkeit)

- Primäre Muskelatrophie mit anatomischen Veränderungen und Strukturläsionen
- Veränderung der Muskelenzyme
- Polyneuropathiesymptome
- Störungen des propriozeptiven Systems (Störungen der Tiefensensibilität, spinale Ataxie,)
- Thalamische Symptome
- Cerebelläre Störungen
- Störungen des Körperschemas
- Verminderung der Vigilanz
- Kognitive Störungen
- Vegetative Dysregulation (Osteoporose, etc.)

## Sekundäre Bedrest-Symptomatik

- Ursache
  - Lang andauernde „Komazustände“, apallisches Syndrom, Locked-in-Syndrom, etc.
  - Kardio-vaskuläre Erkrankungen, längere Bettruhe
  - Zustand nach schweren Verletzungen (Knochenbrüche, etc.), längere Bettruhe
  - Parkinson-Syndrom
  - Spastische Störungen (Rückenmarkläsionen, etc.)
  - Demenz
- Psychiatrische Erkrankungen (reduzierte Bewegung – medikamentös induziert)
- Ältere Personen (verminderte Bewegung)

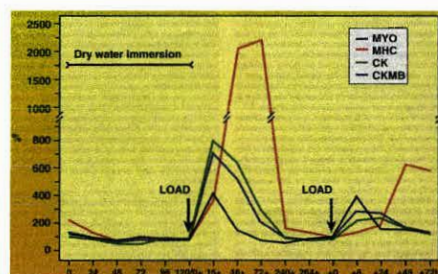
## Störung des propriozeptiven Systems

- Stimulationsdefizit der Schwerkraftrezeptoren
- Läsion des peripheren Leitungssystems (Polyneuropathie)
- Läsion des spinalen Leitungssystems (Rückenmarkschäden, funikuläre Myelose, Tabes dorsalis, etc.)
- Schäden in den Verbindungszentren des Hirnstamms (retikuläre Formationen, pontocerebelläre Verbindungen, etc.)
- Schäden im Thalamus (traumatisch, entzündlich, etc.)
- Schäden in der kortikalen sensomotorischen Region (lokal, diffus – traumatisch, vaskulär-zirkulatorisch, etc.)

## Pathophysiologie des Kosmonauten-/ Astronauten- und des Bedrest-Syndroms experimentell und sekundär

- Schwerelosigkeit führt zu Störungen der Schwerkraft- und der Bewegungsrezeptoren (Mechanorezeptoren), Störungen der Funktion des propriozeptiven System
  - Veränderung in der Motorik (Körper- und Extremitätenbewegungen)
  - Veränderung bzw. Störung der aufrechten Haltung
  - Ausfälle im sensorischen System (Hinterstrang-Reafferenz)
  - Störung des Thalamus-Funktionen
  - Störungen der Frontalhirnfunktion (kognitive Fähigkeiten, psycho-motorische Koordination, Assoziativität, Kritikfähigkeit, emotionale Kontrolle)
  - Störungen der Vigilanz

## Verhalten des Muskelproteins nach DWI von 5 Tagen, gefolgt von isometrischer Muskelbelastung

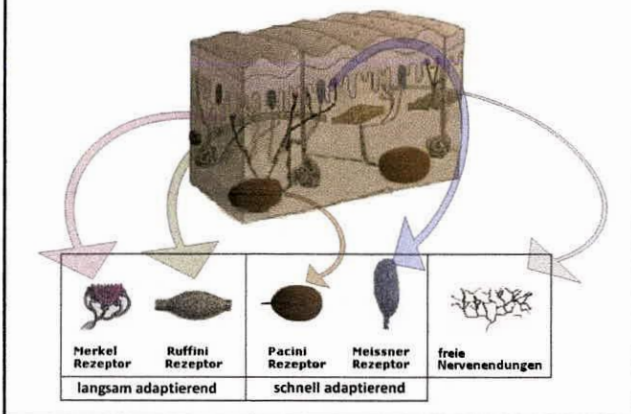


- Myoglobin: Myo
- Myosin heavy chain fragments: MHC
- Creatine kinase enzyme activity: CK
- Creatine kinase MB isoenzyme enzyme mass: CK-MB

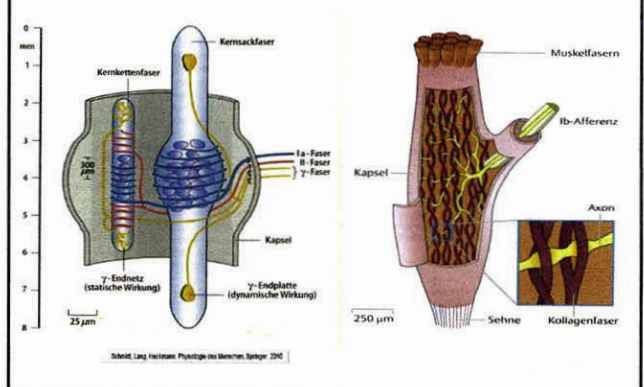
Quelle:  
Artner, Dworzak et al, 1993

Pattern of skeletal muscle proteins which were measured in the plasma of a healthy male volunteer. The concentrations are shown as percent increase from baseline value. Total immobilization (DWI) lasted for 5 days followed by a standardized isometric muscle load. After a regeneration period of 14 days the same procedure of muscle load was performed but with a 2-fold increased isometric load.

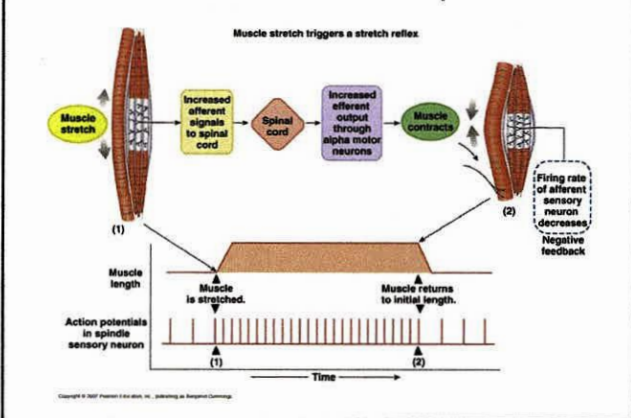
## Mechano-Rezeptoren, schematisch



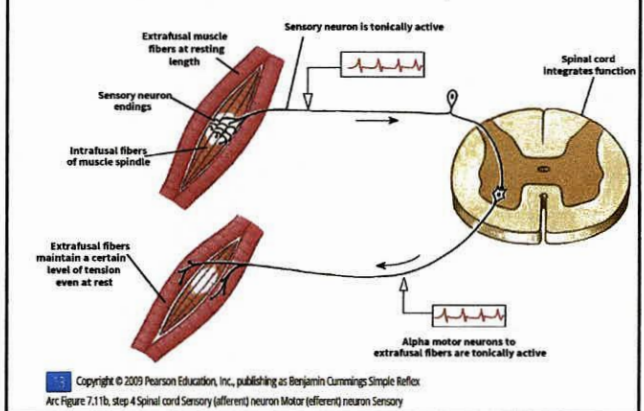
## Schema einer Muskelspindel



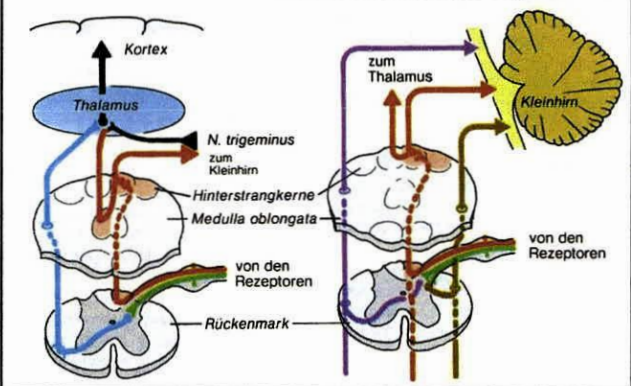
## Funktion der Muskelspindel



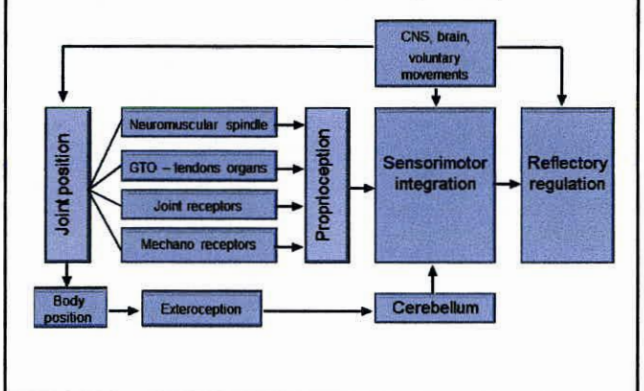
## Funktion der Muskelspindel



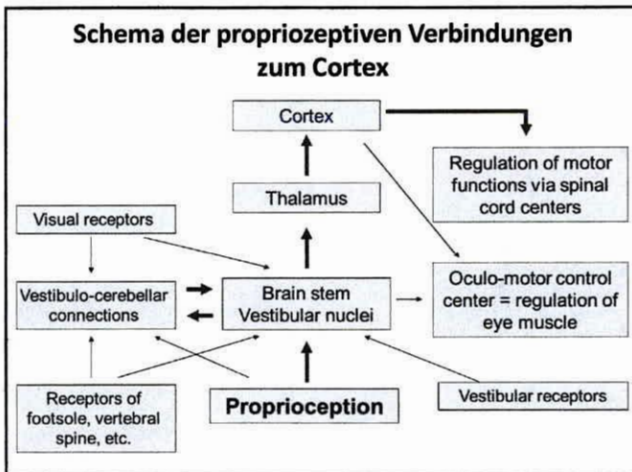
## Das propriozeptive System Verantwortlich für die Schwerkraftperzeption



## Funktionsschema der Propriozeption

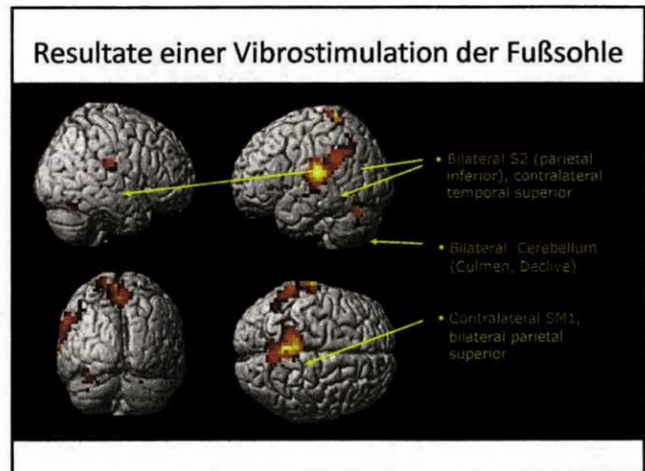






### Experimenteller Nachweis des Einflusses einer Fußsohlen-Vibrostimulation unter Verwendung des funktionellen MRI (fMRI) bei gesunden Probanden

- Nachweis des BOLD-Effektes (Blood oxygenation level-dependent)
  - Hauptfokus der Aktivität in den Zentren des posturalen Systems (sensomotorisches Zentrum), Cerebellum
  - Nebenreaktionen im Frontalhirn, Temporallappen, Thalamus, Gyrus cinguli, Lobulus parietalis inferior



### Verwendung der Forschungsergebnisse der Raumfahrt-Neurologie - I

- Bedrest-Untersuchungen (DWI)
  - Aufdecken von minimalen Großhirnläsionen
    - Akute Neurodiagnostik
- Frühdiagnostik neurologischer Erkrankungen (Parkinson-Syndrom, spastische Störungen)

### Verwendung der Forschungsergebnisse der Raumfahrt-Neurologie - II

- Forschungsergebnisse aus der echten und der simulierten Schwerelosigkeit
  - Verwendung in der Neurorehabilitation
    - Motorische Störungen (Parkinson Syndrom, Spastizität, cerebelläre Störungen, Störungen des peripheren Nervensystems)
      - Apallisches Syndrom, Locked-In Syndrom
      - Schlaganfall
      - Hirnverletzung, etc.
    - Prävention der sekundären Bedrest-Symptomatik
    - Beeinflussung des Verlaufs einer Demenz
  - Geriatrie
  - Psychiatrische Erkrankungen
  - Verwendung im Wellness-Bereich

### Verwendung der Forschungsergebnisse der Raumfahrt- Neurologie - III

- Entwicklung von neuen medizinischen Geräten
  - Verwendung in der Neurodiagnostik (Multiplikationseffekt)
  - Verwendung in der Neurorehabilitation
  - Monitoring der Wirkung von Medikamenten
  - Überwachung neurologischer Veränderungen (zusätzlich zu klinischer Kontrolle und Zusatzmethoden – EEG, EMG, MRI, etc.)

### Verwendung der Forschungsergebnisse nach Vibration der Fußsohle

- Fußsohlendruckschuh
- Fußsohlenvibrationsschuh
  
- Fußsohlenmassage
- Fußsohlenreflexzonenmassage

### Medizinische Geräte für die Neurorehabilitation (Spin-Off-Effekt der Weltraummedizin)

- Ganter-Schuh
- Vibrostimulationsschuh – österreichisches Modell
- Pressure shoe – Russisches Modell
- Korvit System – Foot loading imitator
- Regent – Anzug
- Penguin-Suit
- Adeli-System

### Fußsohlendruckschuh „Ganter-Schuh“

- Konstruktion eines Spezialschuhs mit permanentem Druck auf die Fußsohle und den Fußrücken
- Auswirkungen
  - Permanente Stimulation der Mechano-Rezeptoren in der Fußsohle sowie am Fußgelenk
  - Aktivierung des propriozeptiven Systems



### Fußsohlendruckschuh „Ganter-Schuh“

- Auswirkungen
  - Einfluss auf den Bewegungsablauf beim Gehen
  - Einfluss auf den Bewegungsablauf der Gesamtmotorik
  - Änderung der Körperhaltung durch Einfluss auf das propriozeptive System (Haltungs- und Stellreflexe)
  - Verminderung der Ermüdung beim Gehen, Stehen, Laufen, bei allen Körperbewegungen
  - Anheben der Vigilanz, Aktivierung d. retikulären Systems
  - Aktivierung der höheren und höchsten Hirnleistungen
- Verwendung in der Neurorehabilitation, Defektzustand nach Hirnläsionen (Spastizität), Parkinson-Syndrom, Kleinhirnstörungen

### Vibrostimulationsschuh österreichisches Modell

Verwendung:

Langzeit-Koma-Zustand  
(Intensivstation)

Locked-in Syndrom

Apallisches Syndrom

Defekte nach  
Schlaganfall  
Hirnverletzung

Geplant:

Geriatric, psychiatrische Erkrankungen (Depressionen)





### Korvit - Foot loading imitator Imitation von Gangbewegungen



Verwendung:  
Gangstörungen (Parkinson Syndrom,  
Spastizität, Rückenmarksläsionen,  
Polyneuropathie)

Geplant: Demenz, Geriatrie

### Regent – Anzug



Verwendung:  
Spastizität  
Parkinson Syndrom  
Rückenmarksläsionen  
Polyneuropathie  
Schlaganfall

Geplant:  
Demenz, Geriatrie

### Pinguin-Anzug (Penguin Suit)



Verwendung:  
Cerebrale  
Kinderlähmung  
Spastische  
Spinalparalyse  
  
Geplant:  
Parkinson-  
Syndrom  
Demenz



### ADELI-SYSTEM



Verwendung:  
Cerebrale  
Kinderlähmung  
Spastische  
Spinalparalyse  
Schlaganfall  
Wirbelsäulen-  
erkrankungen  
  
Geplant:  
M. Parkinson  
Dementia



Quelle: ADELI-Broschüre

### Formen der Schwerelosigkeit

- Echte Schwerelosigkeit
  - Parabelflüge
  - Kurzzeitraumflüge
  - Aufenthalt im Orbit (MIR, ISS)
  - Bemannte Mond- und Marsmission
- Simulierte Schwerelosigkeit
  - Experimentelles Bedrest-Modell
  - Sekundäres Bedrest-Syndrom durch Bewegungsmangel
- Partielle Schwerelosigkeit, Aufenthalt unter Wasser
  - Aufenthalt in 4-5m Tiefe
  - Aufenthalt in 20m Tiefe
  - Aufenthalt im Unterwasserturm
  - Schnorcheltauchen

### Partielle Schwerelosigkeit bei Unterwasser-Aufenthalt

- Flaschentauchen (Scuba Diving)  
4-5m Tiefe
- Flaschentauchen (Scuba Diving)  
20-30m Tiefe
- Aufenthalt im Unterwasserturm
- Schnorchel-Tauch-System

## Neue Neurorehabilitationsmethode Flaschentauchen, 4–5m Tiefe

Aktivierung des propriozeptiven Systems

- Indikationen:
  - Minimale Rückenmarksläsionen (traumatisch, MS, etc.)
  - Funktionsstörungen der Wirbelsäule
    - Spondylogene cervicale Myelopathie
    - Lumbalgie mit radikulär/pseudoradikulären Symptomen
    - Cauda-Symptomatik verschiedener Ätiologie
- Neurorehabilitation, zusätzliche Methode für ausgewählte Fälle
- Behandlung von Wirbelsäulendekompensations-Erkrankungen
  - Oberes und unteres Cervikalsyndrom
  - Lumbalgie
  - Dorsalgie, etc.

## Flaschentauchen in einer Tiefe von 4 - 5 Metern



Voraussetzung:

Immer gemeinsam mit  
speziell ausgebildeten  
Physiotherapeuten

## Zukunftsperspektiven der Weltraumneurologie für die Akutneurologie und die Neurorehabilitation I

- Forschungsprogramme mit den Methoden der Raumfahrtneurologie (echte und simulierte Schwerelosigkeit)
  - Detaillierte Erkenntnisse der Funktion des propriozeptiven Systems wie auch des motorischen Systems, Thalamus, höhere und höchste Hirnleistungen (Kognition)
  - Neue Methoden in der Neurodiagnostik, Verwendung des Multiplikationseffekts bei Experimenten in der simulierten Schwerelosigkeit
  - Entwicklung neuer Methoden für die Neurodiagnostik und die Neurorehabilitation

## Zukunftsperspektiven der Weltraumneurologie für die Akutneurologie und die Neurorehabilitation II

- Neurologische Forschungsprogramme in der echten Schwerelosigkeit (Aufenthalt im Orbit – ISS, Mond-Missionen, bemannte Mars-Mission)
- Forschung in der partiellen Schwerelosigkeit bei Verwendung der Methoden der Unterwasserneurologie