

Aus der Universitätsklinik für Neurologie (Vorstand: Prof. Dr. F. Gerstenbrand), Innsbruck, Österreich, dem \*Institut für medizinisch-biologische Probleme (IMBP) (Leiter: Prof. Dr. A. Grigoriev), Moskau, Rußland, der \*\*FDP Inc., Wien, Österreich, und dem \*\*\*Institut für Experimentalphysik (Abteilung Angewandte Physik) der Universität Innsbruck

## Bewegungsstörungen in der Schwerelosigkeit

M. Berger, F. Gerstenbrand, Ch. De Col, L. Grill, A. Muigg, I. Kozlovskaja\*, N. Burlatchkova\*, A. Sokolov\*, B. Babaev\*, M. Borisov\*, M. Mossaheb\*\*, G. Steinwender und E. Hochmair

**Schlüsselwörter:** Bewegungskontrolle – Schwerelosigkeit – neurologische Diagnoseverfahren.

**Key-words:** Motor control – weightlessness – neurological tests.

**Zusammenfassung:** Zur Untersuchung der Koordination von Augen-, Kopf- und Armbewegungen und zur Prüfung des Patellarsehnenreflexes wurde das Diagnosesystem MONIMIR entwickelt und bisher in 3 Raumflügen an Bord der Raumstation MIR eingesetzt. Im Rahmen des Weltraumexperimentes MONIMIR wurden folgende Untersuchungen durchgeführt: (1) langsame dreidimensionale Kopfbewegungen, (2,3) schnelle Zielbewegungen von Augen, Kopf und Arm auf akustische und optische Ziele, (4) langsame Folgebewegungen auf sich bewegende optische Ziele mit Augen, Kopf und Arm, (5) Kopf- und Armbewegungen aus dem Gedächtnis und (6) die Prüfung des Sehnenreflexes.

Unter dem Einfluß der Schwerelosigkeit waren Art und Intensität der Störungen sowohl in bezug auf verschiedene Effektoren als auch in bezug auf verschiedene Tests unterschiedlich ausgeprägt und zeigten einen unterschiedlichen Verlauf der Adaptation. In den meisten Tests erfolgten Kopf- und Armbewegungen verlangsamt und in der Genauigkeit vermindert, wobei Kopf- mehr als Armbewegungen gestört waren. Dies betraf schnelle Zielbewegungen mehr als langsame Folgebewegungen, die sich in Schwerelosigkeit sogar teils verbesserten. Visuell kontrollierte Bewegungen zeigten eine bessere Adaption als propriozeptiv kontrollierte Bewegung. Der Patellarsehnenreflex war deutlich gesteigert. Die Störungen waren in der Frühphase der Flüge ausgeprägt vorhanden und verringerten sich bei den meisten Tests im weiteren Verlauf. Die Methoden und Ergebnisse können nicht nur für die Verbesserung von Auswahl und Gesundheitskontrolle von Kosmonauten in zukünftigen Weltraum-Langzeitmisionen sondern auch in der Erdmedizin für die Diagnostik und die Erforschung adaptiver Prozesse bei Erkrankungen und bei Extrembedingungen eingesetzt werden.

### Movement Disorders in Weightlessness

**Summary:** The system MONIMIR has been developed to study the coordination of eye, head and arm movements as well as spinal reflexes in microgravity and was used during three spaceflights on board of the station MIR. The following investigations in the course of the experiment MONIMIR were performed: (1) slow head movements in three planes, (2,3) fast pointing movements of eyes, head and arm to acoustic and visual targets, (4) tracking movements of eyes, head and arm to visual targets, (5) head and arm movements based on short term memory and (6) patellar-tendon-reflex.

In microgravity different functions and effectors showed different nature and degree of disturbance and different courses in adaptation; in most of the tests exactness and velocity of head and arm movement was decreased; head movements were more disturbed than arm movements; fast pointing movements were more severely affected than slow tracking movements which partly improved; visual

controlled movements showed better adaptation as only proprioceptiv controlled movements; the patellar-tendon-reflex was highly increased. Disturbances were most pronounced in the early stage of the spaceflights; at later stages most of the performances improved.

Methods and results can be used not only for improvement of election and health control of cosmonauts/astronauts for future longterm space missions but also for diagnostics and research of adaptational processes in course of diseases or extreme conditions on earth.

### Einleitung

In der Literatur finden sich Daten über teils ausgeprägte Bewegungsstörungen nach Weltraumflügen. Die Frage, ob diese Störungen nur im Rahmen der Readaptation an die Erdbedingungen auftraten oder die Folge der sich bereits im Flug entwickelten Störungen (10, 11) waren, konnte kaum exakt beantwortet werden, da entsprechende Untersuchungen im Flug fehlten.

Bis jetzt wurden Schlüsse über die Koordinationstörungen in der Schwerelosigkeit fast nur aus den verbalen Berichten der Kosmonauten gezogen. Wir müssen aber bedenken, daß die Fähigkeit des Menschen, Fehler im Bewegungspro-

gramm zu entdecken, weitgehend vom entsprechenden Feedback abhängt (5). Es bestand daher die Notwendigkeit, welt-raumtaugliche Methoden und Apparaturen zur exakten standardisierten Vorgabe und Registrierung von Bewegungen zu entwickeln, die es erlauben, Störungs- und Adaptationsmechanismen vor dem Flug, in den verschiedenen Flugphasen sowie nach dem Flug zu registrieren und zu analysieren (1, 2).

Ziel der Systementwicklung war eine Meßeinheit (3, 7, 14), die die wichtigsten neurologischen Funktionsprüfungen umfaßt und bei automatisierter Durchführung unter den Bedingungen des Weltraumfluges verlässliche Messungen ermöglicht. Auch unter Erdbedingungen sind Funktionen des Bewegungssystems die wichtigste Informationsquelle für die klinische neurologische Untersuchung. Da im Weltraum kein Arzt zur Verfügung steht, ist ein derartiges System auch für die klinische Untersuchung und Verlaufskontrolle, insbesondere bei Langzeitflügen, Voraussetzung.

Die Objektivierung von Funktionsänderungen des Bewegungssystems eröffnet aber auch für den terrestrischen Einsatz neue Möglichkeiten zur Diagnostik und Verlaufskontrolle. Die neurologische und orthopädische Diagnostik von Schmerzsyndromen und Bewegungsstörungen fußt zum Beispiel größtenteils auf der klinischen Beurteilung verschiedener Bewegungsfunktionen. Möglichkeiten einer standardisierten apparativen Bewegungsanalyse bestehen derzeit aber kaum, da die verfügbaren morphologischen Untersuchungsmethoden wie Röntgen, CT oder MRI für diese Funktionsanalysen nicht einsetzbar sind. Dementsprechend kann der klinische Befund dieser Fälle oft nicht mit objektiven Fakten belegt werden.

In der Schwerelosigkeit ändern sich sowohl die Art und das Spektrum des Informationsflusses an Rückenmark und Gehirn als auch die Funktionen, die unser Bewegungssystem und somit auch dessen Steuerung erfüllen muß:

- Die optische Information entwickelt sich zum führenden Kontrollmechanismus und dominiert die anderen Afferenzsysteme.
- Im Bereich vestibulärer Afferenzen tritt eine Dissoziation auf. Im Otholithensystem entfällt die Stimulation durch die Schwerkraft, die translatorischen Beschleunigungen werden aber weiter vermeldet. Auch die Funktion der Bogengänge über die axiale Rotation bleibt weiter aufrecht. Dies

Korrespondenzanschrift: Univ.-Doz. Dr. M. Berger, Universitätsklinik für Neurologie, Anichstraße 35, A-6020 Innsbruck.

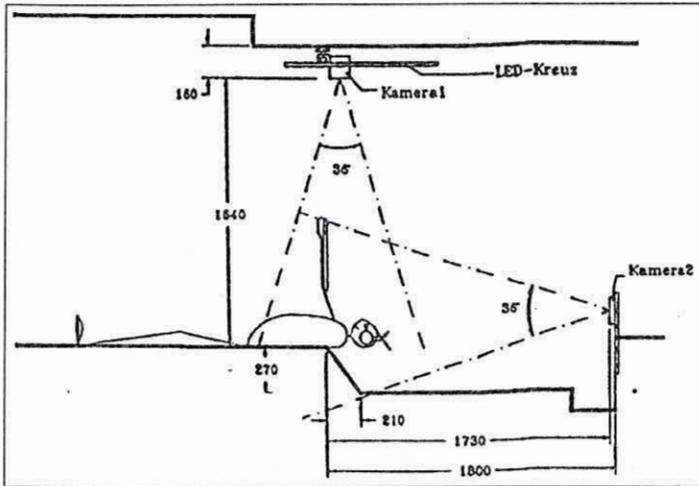


Abb. 1. Versuchsanordnung in der Raumstation Mir: Fixation des am „Boden“ liegenden Kosmonauten mit Becken- und Thoraxgurt. Positionierung der 2 Kamerasysteme und der LED-Matrix.

verursacht ein völlig neues, unbekanntes Afferenzmuster (4, 8, 15).

Die akustischen Informationen sind offensichtlich weitgehend unverändert und können kompensatorische Funktionen, insbesondere für die Raumorientierung, erfüllen.

Die propriozeptiven Afferenzen aus Muskeln, Gelenken und Bändern sind verändert, da die posturale Aktivität für die aufrechte Haltung im Gravitationsfeld entfällt und der Muskeltonus deshalb stark erniedrigt ist.

Auch im Bereich von Haut und Unterhaut fehlen schwerkraftabhängige exterozeptive Reize, wie sie z. B. durch den Hautkontakt der Kleidung, insbesondere aber durch Druck an Fußsohlen, Gesäß, Unterarm usw., auftreten.

- Die Anforderungen an das Bewegungssystem sind völlig geändert.
- Im Schwebzustand ist das Tragen des Körpergewichtes nicht mehr notwendig, und die Fortbewegung erfordert völlig neue Stereotypen. Dies erfolgt wahrscheinlich zum Teil unter Rückgriff auf archaische Bewegungs- und Haltungsmuster, die unter anderem beim Tauchen eingesetzt werden.
- Die Tatsache, daß Körper und Extremitäten kein Gewicht mehr besitzen, die Massenträgheit aber nach wie vor vorhanden ist und bei Bewegung von Körperteilen die entstehenden Gegenkräfte nicht wie unter Erdbedingungen durch den Kontakt mit der Unterlage abgeleitet werden können, bedeutet eine weitere Erschwernis für die Steuerung.

Insgesamt erfordern die geänderten Informationen und geänderten Anforderungen eine große Adaptationsleistung unseres Steuerungs- und Bewegungssystems.

### Material und Methode

Um die Adaptationsleistungen im Bereich der Bewegungsteuerung zu untersuchen, wurde Methode und Apparatur des Experimentes MONIMIR entwickelt. Das Weltraumexperiment wurde bisher in 3 Weltraumflügen durchgeführt:

- im 7tägigen österreichisch-sowjetischen Kurzzeitflug AUSTROMIR 1991 (Kosmonaut Viehböck),
- in 5monatigen und 6monatigen GUS-Langzeitflügen 1992 (Kosmonauten Wolkow bzw. Victorenko).

Zur Untersuchung der verschiedenen Bewegungsstörungen während des Fluges wurde folgende Methodik eingesetzt:

Der Kosmonaut ist in der Raumstation Mir mit einem Becken- und Thoraxgurt am Boden so fixiert (Abb. 1 und 2), daß sich der Kopf über einer Stufe befindet und frei bewegt werden kann. Er trägt einen Meßhelm mit integrierten Kopfhörern, an dem Infrarot-Leuchtdioden und ein Laserzeiger angebracht sind. Am Arm ist ein Zeigestab fixiert, ebenfalls mit Infrarot-Leuchtdioden und einem Laserzei-

ger bestückt. In 160 cm Entfernung befindet sich eine 90 x 90 cm große Fläche mit kreuzförmig angeordneten Leuchtdioden (= LED-Matrix), auf die mit dem Kopf oder Arm gezielt werden muß. Wird ein Schalter des Zeigestabes gedrückt, leuchtet der Laserzeiger (an Helm oder Armzeiger) auf und die Zielposition kann gesehen und gegebenenfalls kontrolliert werden. Mittels eines speziellen Verfahrens, mit dem die Reflexionscharakteristik des Schalls im Bereich des äußeren Ohres und Gehörganges simuliert wird (Fa. AKG, Wien), werden über Kopfhörer Tonsignale aus verschiedenen Richtungen angeboten, auf die gezielt wird.

Die Kopf- und Armbewegungen werden über 2 Infrarot-Scanner-Kamera-Systeme aufgezeichnet, die Registrierung der Augenbewegung erfolgt mittels Elektrookulogramm, und ein EKG wird dauernd registriert.

Für die standardisierte Prüfung des Kniesehnenreflexes wurde ein Reflexstimulator entwickelt. Ein Reflexhammer löst in verschiedenen Schlagstärken den Reflex aus, und die Bewegung des Knies sowie die EMG-Aktivität der Oberschenkelstrecker werden registriert.

Untersucht werden folgende Funktionen:

- Dreidimensionaler Ablauf langsamer repetitiver Kopfbewegung.
- Vorprogrammierte akustische und optische Zielbewegungen von Kopf, Augen und Arm.
- Langsame Folgebewegungen von Kopf, Augen und Arm auf optische Signale.
- Arm- und Kopfbewegungen aus dem Gedächtnis. Armbewegungen werden entweder (bei geschlossenen Augen) durch passive Bewegung des Armes (durch eine andere Person) erlernt und dann aktiv weiter durchgeführt oder direkt aktiv unter optischer Kontrolle erlernt und dann mit geschlossenen Augen wiederholt. Kopfbewegungen werden nur nach aktiver Lernphase wiederholt.
- Nackenreflexe, indem Armbewegungen bei verschiedenen Kopfstellungen durchgeführt werden.
- Patellarsehnenreflex.

### Ergebnisse und Diskussion

#### Biomechanik der Halswirbelsäule

Langsame, endlagige Rotations-, Flexions-/Extensions-, Nick- und Seitneigebewegungen des Kopfes werden bei diesem Test ausgeführt. Durch Registrierung und Analyse der dreidimensionalen Bewegungsabläufe des Kopfes können neben Zeit- und Amplitudenparameter auch Rotationsachsen und Translationsebenen errechnet werden, was Schlüsse auf den biomechanischen Ablauf der Bewegung zuläßt. Im Verlauf einer Kopffrotation treten z. B. regelmäßig Nebenbewegungen in die Seitneigung und Flexion/Extension auf. Diese dreidimensionalen Bewegungsmuster des Kopfes sind in der ersten Pha-

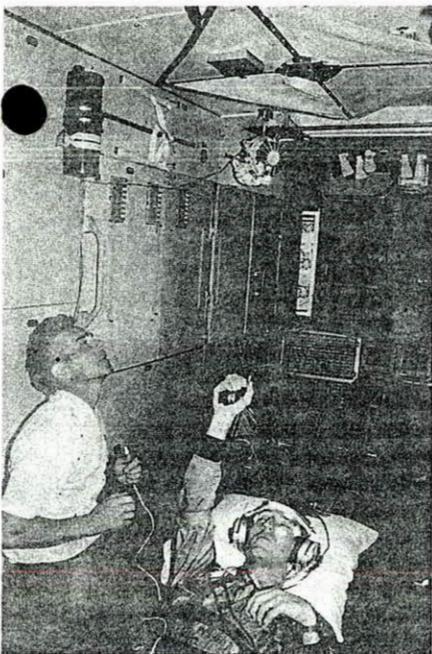


Abb. 2. Kosmonaut Viehböck im Trainingsmodul der Raumstation Mir mit Meßhelm, Arm-Zeigestab, EMG/EOG/EKG-Verstärkerbox und Fixationsgurten; LED-Matrix am „Plafond“.

se der Adaptierung in bezug auf Amplitude, Form und Geschwindigkeit verändert und unregelmäßig. Bei Langzeitflügen nähern sie sich den Vorflugwerten, wobei periodenweise geringe Veränderungen der Bewegungsmuster mit Wechsel der Bewegungsachsen zu beobachten sind.

Es ist anzunehmen, daß durch die Veränderung der Bewegungsfunktion des Kopfes auch eine Änderung des propriozeptiven Affferenzmusters aus der oberen Halswirbelsäule auftritt. Diese Afferenzen liefern wesentliche Informationen für die motorische Steuerung, insbesondere zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes. Änderungen des Affferenzmusters sind wahrscheinlich einer der Gründe für die bei etwa 30 bis 50% der Kosmonauten zu beobachtende „Motion sickness“ in den ersten Tagen des Raumfluges.

### Vorprogrammierte Bewegungen auf optische Ziele

Bei diesem Experimentteil hat der Kosmonaut die Weisung, so rasch als möglich Augen, Kopf oder Arm auf aufleuchtende Leuchtdioden, die auf der LED-Matrix in randomisierter Folge erscheinen, auszurichten.

Im Rahmen der Zielbewegung des Kopfes wird der vestibulookuläre Reflex untersucht: Zum aufleuchtenden Zielpunkt hin bewegen sich zuerst die Augen und danach der Kopf (Phase 1). Während der Kopfdrehung drehen sich die Augen relativ zum Kopf in entgegengesetzter Richtung, um eine Blickfixation zu gewährleisten (Phase 2).

Während des Kurzzeitfluges und der ersten Monate des Langzeitfluges ist aufgrund der verlangsamteten Kopfbewegung ein deutlicher Anstieg des vestibulookulären Koeffizienten (des Verhältnisses der Geschwindigkeit von Augen- zu Kopfbewegung während der Phase 2 zu verzeichnen).

Zur Kontrolle der exakten Kopfstellung wird in der 2. Phase des Versuchs ein am Helm befestigter Laser eingeschaltet. Dies erlaubt, eine vom Zielpunkt (Leuchtdiode auf der LED-Matrix) abweichende Kopfstellung zu erkennen und zu korrigieren.

Bei der Analyse der Zielgenauigkeit zeigt sich, daß unter Erdbedingungen in etwa 25 bis 35% der Fälle das Ziel beim ersten Anvisieren getroffen wurde. Nach Aufleuchten des Helm-Laserzeigers und Korrektur des Zielfehlers waren 63 bis 68% der Zielbewegungen (aufgrund der 2-Sekunden-Signaldauer) exakt (Abb. 3). In der Schwerelosigkeit vermindert sich die Genauigkeit der Zielbewegungen drastisch, so daß am 2. Flugtag in der Phase 1 nur mehr 4% und am 5. Flugtag nur 12% der Zielbewegungen korrekt waren. Auch nach visueller Kontrolle (Phase 2) erfolgten nur 41 bzw. 32% der Zielbewegungen exakt.

Die Kopfbewegungen sind in den ersten Flugtagen der Kurzzeitadaptation stark gehemmt und bleiben während des gesamten Fluges verlangsamt.

Auch die Zielbewegungen des Armes waren in der Schwerelosigkeit in den ersten 2 Monaten zunehmend verlangsamt und zeigten dann eine Besserungstendenz. Die Armbewegung ist insgesamt wesentlich exakter und unter Schwerelosigkeit weniger gestört. Dies ist wahrscheinlich dadurch begründet, daß Zielbewegungen des Armes im Alltag laufend eingesetzt, optisch kontrolliert und somit im Steuerungsprogramm verbessert werden können. In der Schwerelosigkeit werden die Arme zudem auch für die Fortbewegung benützt, es erfolgt also auch dadurch ein laufendes Training von Zielbewegungen.

Ursache der anfangs ausgeprägten Hemmung der Kopfbewegung ist wahrscheinlich die erhöhte vestibuläre Erregbarkeit und die intersensorische Dissoziation, die auch Motion sickness provozieren kann.

Die charakteristischen Veränderungen, im Sinne einer Verminderung der Geschwindigkeit, Erhöhung der Latenzzeit und Verminderung der Präzision bestätigen die Hypothese von Kozlovskaya (11, 12) über die Entwicklung eines ataktischen Syndroms in der Schwerelosigkeit („Hypogravitations-Ataxie-Syndrom“).

### Vorprogrammierte Bewegungen auf akustische Ziele

Der Kosmonaut führt bei diesem Test Zielbewegungen (der Augen bzw. des Kopfes und der Arme) auf im Raum lokalisierte akustische Ziele aus, die mittels Kopfhörers präsentiert werden.

Zielbewegungen der Augen auf akustische Reize sind sowohl unter Erdbedingungen als auch im Weltraum nicht exakt durchführbar, was sich in großen Standardabweichungen zeigt. Im Flug ist sowohl die Genauigkeit als auch der zeitliche Verlauf nicht wesentlich geändert.

Kopfbewegungen und Armbewegungen auf akustische Ziele sind generell präziser als Augenbewegungen und hatten eine Zielabweichung von durchschnittlich 5 Grad. Die Zielgenauigkeit von Kopf- und Armbewegungen auf akustische Ziele

zeigte in der Schwerelosigkeit keine wesentliche Änderung. Die Geschwindigkeit der Kopfbewegung verminderte sich in Schwerelosigkeit generell und die Dauer der Bewegung nahm zu (Abb. 4). Die Armbewegungen blieben hingegen unverändert.

Die akustische Lokalisationsfähigkeit scheint somit in Schwerelosigkeit ungestört. Dies ergab sich auch aus einem anderen Austromir-Experiment (Audimir), bei dem die Exaktheit der akustischen Mittellokalisierung geprüft wurde.

Die Berichte der Kosmonauten, daß die Orientierung im Raumschiff zum Teil akustisch aufgrund der Lokalisation der verschiedenen Geräuschquellen erfolgt, sind daher verständlich.

Die Ungenauigkeit der Augenbewegung auf akustische Ziele ist dadurch begründet, daß die Augenbewegung (im Gegensatz zur Kopf- und Armbewegung) vorwiegend visuell und nicht propriozeptiv kontrolliert wird. Bei einem akustischen Ziel ist aber keine visuelle Kontrolle möglich.

### Langsame Folgebewegungen (Tracking)

Bei den Folgebewegungen des Armes, des Kopfes und der Augen besteht die Auf-

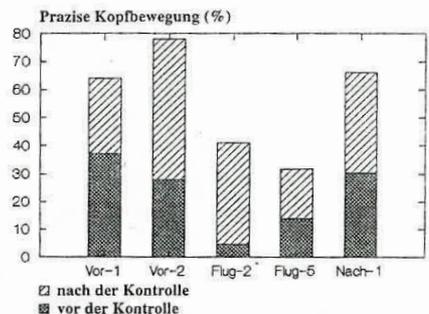
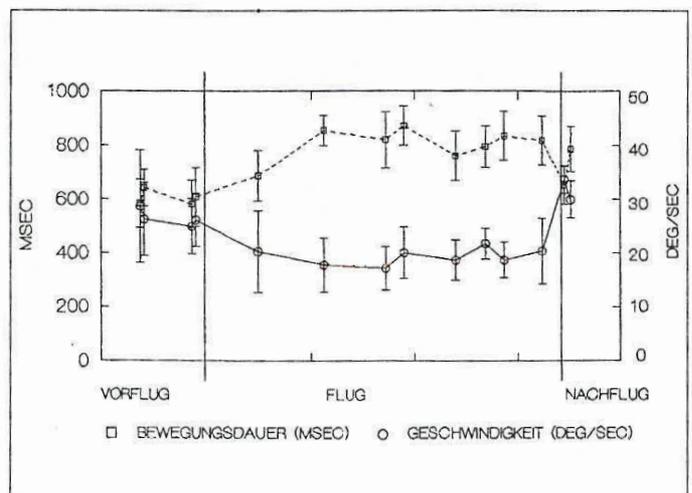


Abb. 3. Zielbewegungen des Kopfes auf optische Ziele (LED-Matrix) vor (meliert) und nach Aufleuchten des Helm-Laserzeigers (schraffiert), d. h. nach allfälliger Korrekturbewegung des Kopfes. Dargestellt ist der Prozentsatz präziser Zielbewegungen (Abweichung > 1 Grad) vor dem Flug (pre-1, pre-2), am 2. und 5. Flugtag (fl-2, fl-5) und nach dem Flug (post-1). 7-Tage-Flug Vieböck.

Abb. 4. Veränderungen der Bewegungsdauer und Bewegungsgeschwindigkeit von vorprogrammierten Kopfbewegungen auf ein akustisches Ziel. 6-Monate-Flug Wolkow.



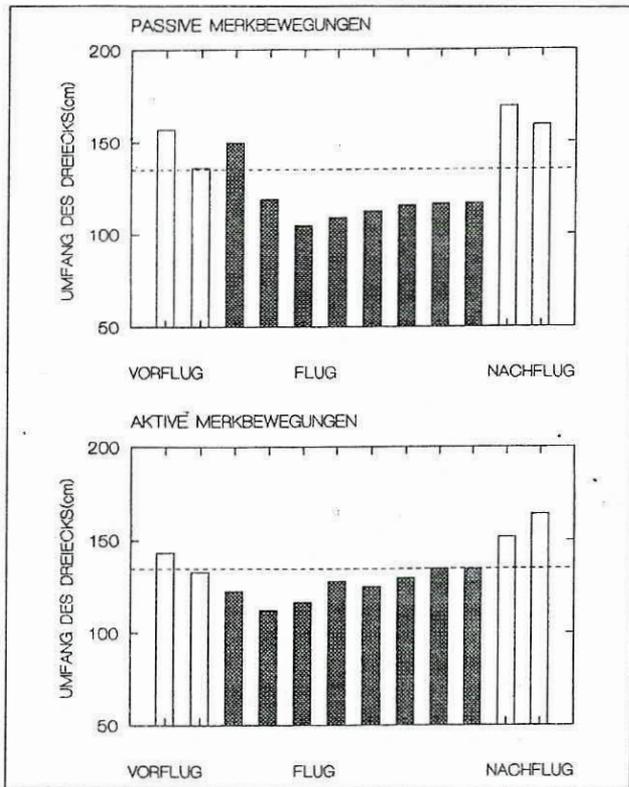


Abb. 5. Passiv und aktiv erlernte Kopfbewegungen werden aus dem Gedächtnis reproduziert. Der Umfang der auf die LED-Matrix projizierten Dreiecksfigur während der verschiedenen Experimente ist dargestellt. 6-Monate-Flug Wolkow.

gabe, einer Reihe sequentiell aufleuchtender Lichtsignale (auf der LED-Matrix) kontinuierlich zu folgen. Aufgrund der langsamen Geschwindigkeit der Signalkette kann der gesamte Bewegungsablauf optisch kontrolliert und im Zentralnervensystem rückgekoppelt korrigiert werden.

Die langsamen Folgebewegungen von Kopf und Arm werden in der Regel in der Schwerelosigkeit genauer und gleichmäßiger ausgeführt als unter Erdbedingungen. Dies kann als weiterer Beleg für die dominante Rolle des optischen Systems gewertet werden. Durch die weitgehende Unabhängigkeit des optischen Systems von Gravitationseinflüssen können Afferenzsysteme, die in der Schwerelosigkeit Veränderungen aufweisen, kompensiert werden.

### Bewegungen aus dem motorischen Kurzzeitgedächtnis (Motor memory)

Armbewegungen werden auf 2 unterschiedliche Arten erlernt: einerseits passiv (mit geschlossenen Augen), indem eine 2. Person den Arm der Versuchsperson führt und ein Dreiecksmuster aus aufleuchtenden Leuchtdioden anzielt (propriozeptive Kontrolle), und andererseits aktiv, indem der Proband selbst das Dreiecksmuster anzielt (optische und propriozeptive Kontrolle).

Sowohl die passiv als auch die aktiv erlernten Bewegungen sind während des Aufenthalts in der Schwerelosigkeit deutlich verlangsamt. Aktiv erlernte Armbewegungen mit visueller Kontrollmöglichkeit werden sowohl auf der Erde als auch im Weltraum standardisierter und genauer durchgeführt. Während des Fluges

kommt es zu einer Größenänderung, Verzerrung, Verschiebung oder Drehung der angezeigten Figur. Teils wird sich der Kosmonaut dieser Veränderungen im Verlauf der Testdurchführung bewußt und versucht willentlich zu korrigieren, wodurch sich zum Beispiel eine ursprüngliche Verkleinerung in eine Vergrößerung wandeln kann.

Passiv und aktiv erlernte Bewegungen zeigen ein unterschiedliches Adaptationsverhalten. Aktiv erlernte Bewegungen weisen im Langzeitverlauf eine fast kontinuierliche Angleichung an die Vorflugwerte auf, während dies bei passiv erlernten Bewegungen nur inkomplett erfolgt (Abb. 5).

Die Kopfbewegungen weisen insgesamt eine wesentlich größere Varianz als Armbewegungen auf, die sich in der Schwerelosigkeit noch akzentuiert.

### Patellarsehnenreflex

Der Kniesehnenreflex wird mit dem Reflexstimulator in drei verschiedenen Schlagstärken ausgelöst. Das Ausmaß der Beinbewegung und die Aktivierung des M. quadriceps femoris werden gemessen.

Sowohl in den Anfangs- als auch in den Endphasen des Weltraumfluges besteht eine stark ausgeprägte Hyperreflexie (Abb. 6). Die Zunahme der Amplitude und Verbreiterung der EMG-Antwort sowie das Auftreten kurzer EMG-Salven bei geringfügiger Muskeldehnung während des Nachschwingens des Beines läßt auf eine verstärkte Erregbarkeit auf spinaler Ebene schließen. Ursache der Übererregbarkeit ist wahrscheinlich die funktionelle Deafferenzierung der Muskeln aufgrund

der Entlastung des Stützapparates in der Schwerelosigkeit (6, 9, 16).

Die Untersuchungsergebnisse des Kniesehnenreflexes bestätigen die Hypothese, daß ein Hauptgrund für die Entwicklung von Bewegungsstörungen während der Weltraumflüge in der Veränderung der Funktion der spinalen Reflexmechanismen liegt.

### Schlußfolgerungen

Augen-, Kopf- und Armbewegungen sind in Schwerelosigkeit unterschiedlich gestört. Die Störung betrifft zusätzlich die verschiedenen Bewegungsfunktionen unterschiedlich:

- Langsame maximale Kopfbewegungen zeigen in der ersten Phase des Fluges erhebliche Änderungen im biomechanischen Ablauf und normalisieren sich erst im weiteren Verlauf der Langzeitflüge.
- Vorprogrammierte, rasche Zielbewegungen sind insbesondere in der Phase der Kurzzeitadaptation stark gestört und betreffen die Kopfbewegungen stärker als die Armbewegungen. Die Augenbewegungen zeigen hingegen keine wesentlichen Änderungen. In der ersten Flugphase ist die Zielgenauigkeit des Kopfes trotz visueller Kontrolle stark gestört. Im Langzeitflug tritt dann im Rahmen der Adaptation eine wesentliche Besserung der Zielgenauigkeit auf. Eine deutliche Verlangsamung des Bewegungsablaufes bleibt jedoch während der ganzen Flugdauer bestehen. Auch die Augen-Kopf-Koordination, die im Rahmen des vestibulo-okulären Reflexes geprüft wird, normalisiert sich nach anfänglicher Abweichung weitgehend.
- Akustisch induzierte Zielbewegungen scheinen in Schwerelosigkeit nicht gestört zu sein, sind jedoch wie die visuell induzierten Zielbewegungen verlangsamt.
- Langsame Folgebewegungen des Kopfes und Armes, die in ihrem Ablauf visuell kontrolliert werden, zeigen in der Schwerelosigkeit im Gegensatz zu raschen vorprogrammierten Bewegungen eher eine Besserung. Die Augenbewegung ist nicht verändert.
- Bewegungen aus dem motorischen Kurzzeitgedächtnis sind in Schwerelosigkeit deutlich gestört, wobei die Kopfbewegungen stärker als die Armbewegungen betroffen sind. Auch diese Bewegungen bleiben während des gesamten Verlaufs verlangsamt. Unter visueller Kontrolle erlernte Bewegungen zeigen im Verlauf des Langzeitfluges eine weitgehende Normalisierung, während aufgrund passiver Bewegungen (propriozeptiv) erlernte Bewegungsabläufe gestört bleiben.
- Der Patellarsehnenreflex ist stark gesteigert.

Die durchgeführten Untersuchungen sind als Modellfall für Adaptationsvorgänge des

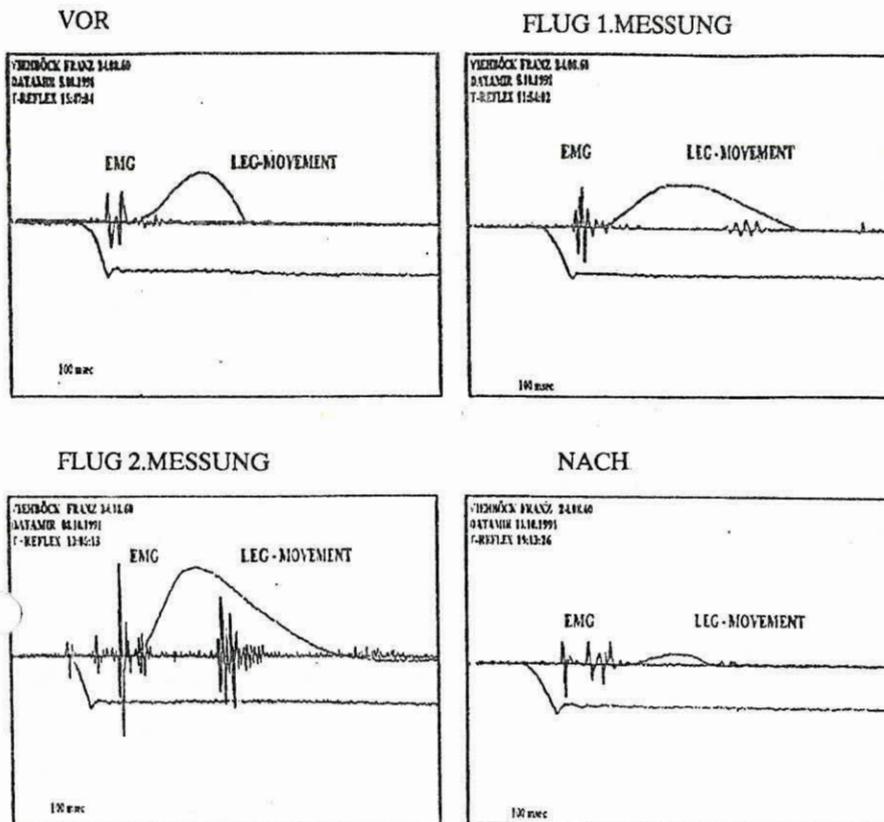


Abb. 6. Darstellung des Patellarsehnenreflexes vor, während und nach dem Welt- raumflug. Aufgezeichnet werden die Beinbewegung (oben), das EMG des *M. quadriceps femoris* (Mitte) und der Ausschlag des Hammers (unten).

Steuerungs- und Bewegungssysteme unter extremen Bedingungen zu werten. Die entwickelten Methoden erlauben es, Funktionsabläufe zu registrieren, was eine Voraussetzung für eine neurologische Ferndiagnostik darstellt.

Die gewonnenen Erkenntnisse kommen der Verbesserung bestehender und der Bearbeitung neuer Prophylaxe- und Rehabilitationsmethoden der Kosmonauten/Astronauten zugute. Insbesondere für Langzeitflüge kann das Testsystem, das als Vorläufer eines automatisch arbeitenden neurologischen Diagnosesystems

konzipiert ist, einem Ärzteteam auf der Erde Informationen über den Gesundheitszustand, über auftretende Störungen und über die Leistungsfähigkeit der Kosmonauten vermitteln.

Ohne derartige Studien ist eine Ausweitung der Dauer der Flüge bis hin zu einer Marsmission nicht möglich. Auch für die nächste geplante Langzeitmission über eine Dauer von 16 Monaten – der bisher längsten in der Geschichte der bemannten Raumfahrt – wird das österreichische Testsystem für die neurologische Diagno-

stik und für gemeinsame russisch-österreichische Experimente eingesetzt.

Das Check-up-System wird derzeit auch in der terrestrischen Medizin für die neurologische und neuroorthopädische Diagnostik und für Verlaufskontrollen verwendet. Methoden für eine automatische Analyse und Beurteilung der Messungen unter Anwendung intelligenter Methoden sind in Entwicklung.

Die aus den Weltraumexperimenten gewonnenen Erkenntnisse liefern Beiträge zur Erforschung der Sensomotorik und helfen bei der Entwicklung neuer Prophylaxe- und Therapiemethoden für die terrestrische Medizin, insbesondere für das Bed-rest-Syndrom.

## Literatur

- (1) Berger M, et al: Eye Head Arm Coordination and Spinal Reflexes in Weightlessness – Monimir, in Austrian Society for Aerospace Medicine (ed): Health from Space Research. Wien-New York, Springer, 1992, pp 119-135.
- (2) Berger M, et al: Eye-head-arm coordination and spinal reflexes in weightlessness. "International Space Year" Conference, Columbus Eight (COSY-8) Munich, Germany 1992.
- (3) Berger M, Hochmair E, Holzmüller G, Ostermann M, Steinwender G: Bewegungsanalyse unter Mikrogravitation: Theorie und Praxis zur Berechnung der Zielbewegung mit der Monimir-Helmlampe. Biomed Technik 1992;37:73-77.
- (4) Berthoz A, et al: European vestibular experiments on the Spacelab-1 mission: 5. Contribution of otoliths to the vertical VOR. Exper Brain Res 1986;64:272-278.
- (5) Brooks VB, Thach WT: Cerebellar control of posture and movements / motor control, in American Physiol Society (ed): Handbook of physiology. Vol 2. Bethesda, Brooks VB, 1981, pp 877-946.
- (6) Burlachkova NI, et al: Role of support afferentation in precise movement control. USSR Symp: Regulation of the motor function. Vol 29. Vinnitsa, 1989.
- (7) Furnee EH: TV/Computer Motion Analysis Systems: The First Two Decades. PhD Thesis, Delft University of Technology, TU Delft, 1989.
- (8) Kornilova LN, et al: Mechanismen vestibulookulomotorischer Adaptationen unter den Bedingungen der realen und modellierten Schwerelosigkeit. Z Klin Med 1989;44:1789-1792.
- (9) Koslovskaya IB, et al: Effects of dry immersion on the rhythmic of m. soleus motor units in man. Physiology of man 1986;12:627-632.
- (10) Kozlovskaya IB, et al: Gravitational mechanisms in motor systems. Studies in real and simulated weightlessness. In: Gurfinkel V, et al. (eds): Stance and Motion. Facts and concepts. New York-London, Plenum Press, 1988, pp 37-48.
- (11) Kozlovskaya IB, et al: Studies of effects of weightlessness on motor and vestibulo-motor reactions. Physiologist 1984;27:111-114.
- (12) Kozlovskaya IB: Nature and characteristics of hypogravitational ataxia. Physiologist 1983;26:108-109.
- (13) Kozlovskaya IB, et al: Pathophysiology of motor functions in prolonged manned space flights. Acta Astronautica 1981;8:1059-1072.
- (14) Saito S, Yamanobe H, Tsukahara A: A photoelectric device for recording of 3-D positional changes and its application to analysis of human motions. Tohoku J Exp Med 1974;113:25-35.
- (15) Sirota MG, et al: Neuronal activity of nucleus vestibularis during coordinated movement of eyes and head in microgravitation. Physiologist 1988;31:8-9.
- (16) Stam J, Van Crevel H: Measurement of tendon reflex by surface electromyography in normal subjects. J Neurol 1989;236:231-237.

## Neuartiges Fortbildungskonzept

Die Gastroenterologen der 2. Medizinischen Abteilung des Krankenhauses St. Pölten veranstalteten in Zusammenarbeit mit der Firma Gebro eine neuartige Fortbildungsveranstaltung:

Videoendoskopische Aufnahmen im Verlaufe von Gastroskopien und Kolonoskopien werden auf einem Großbildschirm gezeigt. Die Zuhörer werden sozusagen live in den Untersuchungsgang einbezogen: sie haben die Möglichkeit, zu jeder Untersuchung, Diagnose, Therapieempfehlung und weiterem Procedere mit Hilfe eines optischen Wahlsystems Stellung zu nehmen. Die von den Zuhörern gewählten Entscheidungen werden im Anschluß mit den Spezialisten diskutiert.

Zielpublikum sind praktische Ärzte, die dadurch einen sehr plastischen Einblick in die Endoskopie bei jenen Patienten erhalten, die sie an den Gastroenterologen überweisen.

Diese neue Form interaktiver Fortbildung hat nicht nur einen sehr hohen Lernwert, sondern ist spannend und macht Spaß.

Gebro Fieberbrunn / Fachbereich Gastroenterologie plant aufgrund des großen Erfolges auch 1994 eine Fortsetzung dieser Veranstaltungsreihe.

# WMMW

## Wiener Medizinische Wochenschrift



### Themenheft: Weltraummedizin

(Moderation: Prof. Dr. H. Hinghofer-Szalkay)

#### Inhalt

|   |                    |
|---|--------------------|
| <b>H. Hinghofer-Szalkay: Zum Geleit</b> .....   | 579                |
| <b>H. Oser: Vorwort</b> .....   | 580                |
| <b>A. Grigoriev: Vorwort</b> .....  | 580                |
| <b>F. Gerstenbrand und A. Mulgg: Raumfahrtmedizin und Life sciences in space</b> .....  | 582                |
| <b>H. Hinghofer-Szalkay: Lebenserhaltung – von Raumanzug bis Biosphäre</b> .....  | 585                |
| <b>N. Bachi, R. Baron, H. Tschan, M. Mossaheb, W. Bumba, F. Hildebrand, M. Kraus, M. Witt, R. Albrecht, I. Kozlovskaja und N. Charitonov: Grundlagen der muskulären Leistungsfähigkeit unter Bedingungen der Schwerelosigkeit</b> ..... | 588                |
| <b>Th. Benke: Die klinische und experimentelle Anwendung von Cogimir</b> ..   | 610                |
| <b>M. Berger, F. Gerstenbrand, Ch. De Col, L. Grill, A. Mulgg, I. Kozlovskaja, N. Burlatchkova, A. Sokolov, B. Babaev, M. Borisov, M. Mossaheb, G. Steinwender und E. Hochmaier: Bewegungsstörungen in der Schwerelosigkeit</b> .....   | 614                |
| <b>E. Gallasch, W. N. Löscher, M. Moser, T. Kenner, I. Kozlovskaja und A. Konev: Mikrovib – eine Testbatterie für Untersuchungen zum physiologischen Tremor</b> .....   | 620                |
| <b>H. Hinghofer-Szalkay und V. B. Noskov: Das interstitielle Organ im schwerelosen Zustand: ein klinisch-physiologisches Modell?</b> .....  | 626                |
| <b>Ch. Müller, G. Wiest, L. Kornilova und L. Deecke: Visuo-vestibuläre Interaktion zur Bestimmung des Orientierungsverhaltens in der Schwerelosigkeit</b> .....   | 630                |
| <b>Ch. Müller, P. Schneider, A. Persterer, M. Opitz, M. V. Nefjodova und M. Berger: Angewandte Psychosomatik im Weltraum</b> .....  | 633                |
| <b>Helga Tuschl, R. Kovac, W. Klein, E. Ott, Y. I. Voronkov und M. Kaldakow: Genetische und immunologische Untersuchungen nach einem Raumflug</b> .....   | 636                |
| <b>Kongressankündigungen</b> .....  | 584, 613, 619, 638 |

#### Contents

|   |                    |
|---|--------------------|
| <b>H. Hinghofer-Szalkay: Preface</b> .....  | 579                |
| <b>H. Oser: Editorial</b> .....   | 580                |
| <b>A. Grigoriev: Editorial</b> .....  | 580                |
| <b>F. Gerstenbrand and A. Mulgg: Space Medicine and Life Science in Space</b> .....   | 582                |
| <b>H. Hinghofer-Szalkay: Life Support – From Space Suit to Biosphere</b> ..   | 585                |
| <b>N. Bachi, R. Baron, H. Tschan, M. Mossaheb, W. Bumba, F. Hildebrand, M. Kraus, M. Witt, R. Albrecht, I. Kozlovskaja and N. Charitonov: Principles of Muscular Efficiency under Conditions of Weightlessness</b> ..           | 588                |
| <b>Th. Benke: The Clinical and Experimental Application of Cogimir</b> .....  | 610                |
| <b>M. Berger, F. Gerstenbrand, Ch. De Col, L. Grill, A. Mulgg, I. Kozlovskaja, N. Burlatchkova, A. Sokolov, B. Babaev, M. Borisov, M. Mossaheb, G. Steinwender and E. Hochmaier: Movement Disorders in Weightlessness</b> ..... | 614                |
| <b>E. Gallasch, W. N. Löscher, M. Moser, T. Kenner, I. Kozlovskaja and A. Konev: Mikrovib – a Test Battery for the Investigation of Physiological Tremors</b> .....   | 620                |
| <b>H. Hinghofer-Szalkay and V. B. Noskov: The Interstitial Organ in Microgravity: a Model for Clinical Physiology?</b> .....  | 626                |
| <b>Ch. Müller, G. Wiest, L. Kornilova and L. Deecke: Visuo-vestibular Interaction and Spatial Orientation in Microgravity</b> .....   | 630                |
| <b>Ch. Müller, P. Schneider, A. Persterer, M. Opitz, M. V. Nefjodova and M. Berger: Applied Psychoacoustics in Microgravity</b> .....   | 633                |
| <b>Helga Tuschl, R. Kovac, W. Klein, E. Ott, Y. I. Voronkov and M. Kaldakow: Genetic and Immunological Investigations after a Spaceflight</b> ..  | 636                |
| <b>Congress Announcements</b> .....   | 584, 613, 619, 638 |

1993 · Heft 23/24 · Jahrgang 143