

**Titel:** Das System der räumlichen Orientierung in der Schwerelosigkeit

**Autoren:** Jähn, S.; Schedler, O.<sup>1</sup>

**Institution:** <sup>1</sup> Helios Klinikum Bad Saarow, Flugmedizin, Pieskower Straße 33, 15526 Bad Saarow

**Abstract:** Der Einfluss der Schwerelosigkeit auf das System der räumlichen Orientierung erfolgt sowohl unmittelbar in Form der Beendigung der Einwirkung der Schwerkraft auf die gravitationsabhängigen Strukturen als auch durch die Veränderung des Charakters der Bewegungsabläufe in der SL selbst.

Das Fehlen der Wirkung der Schwerkraft beeinflusst in erster Linie das Otolithensystem des Vestibularapparates, welches für die Wahrnehmung von linearen Beschleunigungen bei Bewegungen des Kopfes verantwortlich ist. In der SL wird eine Neigung des Kopfes als eine Drehung registriert, aber die Otolithen nehmen die Neigung des Kopfes nicht wahr. Das ruft einen sogenannten sensorischen Konflikt hervor.

Analoge Veränderungen erfolgen in allen Analysatoren, die von der Gravitation beeinflusst werden.

Veränderungen im System der Bewegungen und Orientierung des Körpers im Raum treten von den ersten Sekunden der Schwerelosigkeit an auf. Sie treten zutage als Schwindelgefühl, als Illusionen in der Wahrnehmung des Raumes verschiedenster Art. 90% der Kosmonauten sprechen von solchen Illusionen. Diese äußern sich in Gestalt einer scheinbaren Kipplage oder Rückenlage des Körpers. Einige Kosmonauten sprechen von der Empfindung, als ob sich die Eingeweide nach oben verlagerten oder auch von Schwierigkeiten, den Blick auf einen bestimmten Gegenstand zu fixieren.

Die Veränderungen des Charakters der Bewegungen in der SL im Unterschied zu irdischen Bewegungen (Lauf, Gehen) bestehen im Folgenden:

- Die Verlagerungen des Körpers in der SL erfolgen durch Abstoßen mit Händen und Füßen von einem Festpunkt bzw. durch Erfassen von vorstehenden Elementen der Kabinenausrüstung.
- Die Lageveränderungen haben keinen zyklischen Charakter.
- Die Verlagerung des Massenzentrums erfolgt gleichmäßig über alle drei Achsen etwa im gleichen Umfang; unter irdischen Bedingungen sind Schwankungen in Richtung von oben nach unten ausgeprägt.
- Der elementare Akt der Fortbewegung im Raum geht langsamer als unter irdischen Bedingungen vor sich und besteht aus drei Phasen: Beschleunigung - freier Flug (Schweben) - Abbremsen.

In der Schwerelosigkeit ist die Frequenz der Bewegung unter 0,5 Hz (infolge der Ausgeglichenheit der Bewegung). Das ist einer der Auslöser für einen sensorischen Konflikt und provoziert - im Zusammenspiel mit den unmittelbaren Einflüssen der Schwerelosigkeit - die kosmische Form der Bewegungskrankheit.

Bei etwa der Hälfte der Kosmonauten werden Symptome der kosmischen Form der Bewegungskrankheit als Reaktion des vegetativen Nervensystems (Übelkeit, Erbrechen, Appetitsverlust) und des zentralen Nervensystems (Schläfrigkeit, Schwäche, verringerte Arbeitsfähigkeit) beobachtet. Provozierende Faktoren der Bewegungskrankheit sind Bewegungen des Kopfes, besonders Neigungen, Fortbewegungen im Raumfahrzeug und (in geringerem Maße) Drehungen des Kopfes in horizontaler Ebene.

Wir unterscheiden bei Raumfahrern 3 Typen von Reaktionen der sensorischen Systeme auf die Bedingungen der Schwerelosigkeit:

- Der resistente Typ. Bei ihm fehlen Symptome von sensorischem und vegetativem Diskomfort. Dabei sind schwach ausgeprägte Illusionen möglich.
- Typ mit stark ausgeprägte Reaktionen für 2-3 Tage.

- Typ mit gemäßigten, aber bis zu 2 Wochen hingezogenen Symptomen von sensorischem und vegetativem Diskomfort.

Im Prozess der Adaptation an die Schwerelosigkeit formiert sich ein funktionelles System der räumlichen Orientierung, das normale Reaktionen des Kosmonauten im Raumfahrzeug bis zur Landung auf der Erde ermöglicht. Nach der Landung entsteht allerdings bei einigen Kosmonauten im Prozess der Readaptation ein Rezidiv der Bewegungskrankheit, welches die Fähigkeit zu selbständigen Bewegungen verschlechtert.

**Der Blutkreislauf in der Schwerelosigkeit:** Der Blutkreislauf unterliegt im Prozess der Adaptation an den Zustand der Schwerelosigkeit einer Evolution. Man spricht von einem Phänomen der Umverteilung des Blutes zu Beginn des Eintretens der Schwerelosigkeit zu einer schrittweisen Schwächung der Mechanismen, die der Gravitation entgegenwirken. Schließlich kommt es zu einer orthostatischen Instabilität bei der Rückkehr auf die Erde.

Mit dem Verlust des hydrostatischen Drucks in der SL führt der verständlicherweise höhere Tonus in den Blutgefäßen der unteren Körperhälfte zur Umverteilung des Blutes in die Gefäße der oberen Körperhälfte und hier hauptsächlich in die Lunge und Brusthöhle. Dabei wird der Abfluss des Blutes aus dem Gehirn erschwert. Der Blutdruck im Kopf ist lästig und auch sichtbar. Das Phänomen der Umverteilung des Blutes wird mit der Zeit schwächer, verschwindet aber selbst bei Langzeitflügen nicht vollständig.

Zu anderen gewichtigen Abweichungen von der normalen Funktion des Blutkreislaufes gehören Herzrhythmusstörungen bei einigen Kosmonauten.

Im Großen und Ganzen passt sich der Blutkreislauf effektiv an die Bedingungen der Schwerelosigkeit an. Er sichert unter anderen

hohe physische Belastungen, wie mehrstündige Arbeiten im freien Weltraum.

Bericht über medizinische Untersuchungsmethode eines Arztes. Kipptisch mit Lageveränderungen um 360°. Ausgangspunkt: Lage in der SL entspricht 7° Neigung.

Methodik unbeliebt, besonders die Empfehlung, in dieser Lage zu schlafen. Heute nicht mehr üblich.

**Der Stütz- und Bewegungsapparat in der Schwerelosigkeit:** Die Bewegungsaktivitäten des Menschen entwickelten sich im Verlauf der Evolution unter ständiger Einwirkung der Schwerkraft, die die Struktur und das Funktionieren der komplizierten Mechanismen der Bewegungskoordination in bedeutendem Maße bestimmte.

Mit dem Verschwinden des Schweregefühls als dem wichtigsten Moment der Bewegungskoordination in der Anfangsphase eines Raumfluges:

- leidet die Genauigkeit von Bewegungen,
- vergrößert sich die Zeit für die Durchführung von Operationen beim Arbeiten,
- wird die Einschätzung der erforderlichen Muskelkraft beim Umgang mit Gegenständen erschwert,
- verringert sich der Tonus der Muskeln, die der Schwerkraft entgegenwirken (Beuger für Hals, Oberkörper, Füße).

Die in der Schwerelosigkeit einsetzenden adaptiven Reaktionen des Bewegungsapparates ermöglichen eine relativ schnelle Umstellung auf die erforderliche Regulation der Bewegungen unter den neuen Bedingungen. Schon nach einigen Tagen werden die Bewegungen genau und ausgewogen. Die Koordination der Bewegungen in der Schwerelosigkeit ist somit ein Problem der ersten Tage beim Raumflug. Vorbereitendes Training, z. B. Parabelflüge auf speziellen Flugzeugen, ist dabei hilfreich.

Im Weiteren kommt es infolge der Verringerung der Belastung auf die Muskeln (besonders der statischen Belastung) und der ungenügenden Muskelaktivität zu Subatrophie (Atrophie ist die Verringerung von Organen oder Körperstoffen), also eines Abtrainierens der Muskeln - vorwiegend jener, die der Schwerkraft entgegenwirken. Es verringert sich die Rolle des muskulären Faktors im Funktionieren des Blutkreislaufes.

Das so genannte „Abtrainieren“ der Muskeln, aufgrund der orthostatischen Instabilität in der Schwerelosigkeit, stellt für den Raumfahrer hinsichtlich der Sicherung selbstständiger Bewegungen nach der Rückkehr auf die Erde eine schwierige Aufgabe dar. Besonders natürlich in einer Situation, wenn die Landung an einem unvorhergesehenen Ort erfolgt und keine Hilfe zu erwarten ist.

Die Verringerung der Belastung auf den Stütz- und Bewegungsapparat wirkt sich negativ auf die Knochenfestigkeit bei Langzeitflügen aus. Die Verringerung der statischen Belastung führt zu einer Verringerung der Prozesse der Neubildung der Knochensubstanz, der Störung des Phosphor-Kalium-Stoffwechsels, was letzten Endes zu einer Verringerung der Mineralstoffe im Knochen und damit zu einer Verringerung seiner Festigkeit führt. Der Entmineralisierung unterliegen vor allem jene Knochen, die unter irdischen Bedingungen die Gewichtsbelastung zu tragen haben.

**Blutbildungsprozesse:** Ausgangspunkt: Ein Mensch mit einem Gewicht von 70 kg hat etwa 5.500ml Blut, was 8% seiner Körpermasse entspricht. Die Blutverteilung im Organismus wird beeinflusst durch die Lage des Körpers, bezogen auf den Vektor der Schwerkraft. Das ist auch zutreffend in der Schwerelosigkeit, d. h. auch dann, wenn dieser Vektor wegfällt.

In sitzender oder stehender Position befinden sich etwa 3300ml im venösen Kreislauf, im arteriellen sind es 900ml; d. h. nur etwa 15% des Gesamtvolumens.

Unter Bedingungen der Schwerelosigkeit verlagert sich das Blut aufgrund des fehlenden hydrostatischen Druckgradienten aus dem venösen System in die zentralen Gefäße. Dieser Zustand löst eine Reihe von Anpassungsreaktionen aus. Es verringert die Produktion von Erythrozyten. Als Reflexreaktion vergrößert sich die Ausscheidung von Flüssigkeit und Salzen aus den Nieren. Im Ergebnis dieser Reaktionen verringern sich Blutvolumen, Zellflüssigkeit und Lymphflüssigkeit, was letztlich zur Entwässerung des Körpers und zur Eindickung des Blutes führt. Allmählich aber stellt sich ein Gleichgewichtszustand dieser Körperflüssigkeiten ein, der dem irdischen Verhältnis ähnlich ist.

Nach Ergebnissen der Untersuchungen an 42 amerikanischen Astronauten, die Raumflüge mit Raumfahrzeugen vom Typ APOLLO, SPACE SHUTTLE und SKYLAB unternommen haben, betrug im Mittel die Verringerung der Masse der Erythrozyten 197, des Blutplasma 301 und des gesamten Blutvolumens 498ml.

Hervorzuheben ist der wesentliche Unterschied dieser Probleme im Blutkreislauf zwischen Kurzzeitflügen und Langzeitflügen im Weltraum.

Bei kurzen Aufenthalten im Weltraum bleiben die energetischen Anforderungen des Organismus gesichert. Dagegen ist bei längeren Raumflügen eine Verlangsamung der Blutbildung charakteristisch, was zur Verringerung der Anzahl der Erythrozyten und des Hämoglobins führt. Die Wiederherstellung des Normalzustandes im roten Blut erfolgt bei längeren Flügen, im Vergleich zu Kurzzeitflügen, langsamer.