



Längere Aufenthalte im All sind eine enorme Belastung für den menschlichen Körper: Muskeln und Knochen bauen ab und die Körperflüssigkeiten verschieben sich mangels Schwerkraft von den Beinen in Richtung Kopf. Die veränderten Druckverhältnisse führen nicht nur zu kalten Füßen und einem „puffy face“, einem geschwollenen Kopf. Aus der Flüssigkeitsverschiebung folgt eine ganze Reihe medizinischer Probleme. Betroffen ist unter anderem das Auge. Raumfahrende berichten immer wieder über eine Veränderung der Sehkraft. Sie können zum Beispiel weitsichtig werden. Etwa 70 Prozent sind von Augenveränderungen betroffen, wenn sie aus dem All zurückkehren. Um Gegenmaßnahmen entwickeln zu können, müssen die Forschenden die komplexen physiologischen Veränderungen unter Weltraumbedingungen besser verstehen. Seit Jahrzehnten ist es eine bewährte Forschungsmethode, dass sich Probandinnen und Probanden dafür ins Bett legen – in Kopftieflage.

Im Herbst 2021 ist am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln die Bettruhestudie SANS-CM angelaufen. Auftraggeber ist die US-Raumfahrtbehörde NASA. Der Name der Studie leitet sich her von Spaceflight Associated Neuro-ocular Syndrome und bezeichnet das typische Weltraum-Augenleiden. CM steht für Countermeasures, die Gegenmaßnahmen, die es zu finden gilt, um die unerwünschten Effekte der Schwerelosigkeit auf den Körper zu verzögern oder gar zu verhindern. In der Studie werden Unterdruckkammern eingesetzt. Sie „ziehen“ Blut und andere Körperflüssigkeiten in die untere Körperhälfte.

Liegen in sechs Grad Kopftieflage – Weltraumbedingungen auf der Erde

Liegen Menschen in einem Bett, bei dem das Kopfende um sechs Grad nach unten geneigt ist, verteilen sich die Körperflüssigkeiten wie in der Schwerelosigkeit. Ähnlich wie im All steigt mehr als ein halber Liter Flüssigkeit in den Oberkörper. Solche „irdischen Astronautinnen und Astronauten“ haben gleich mehrere Vorteile: Unter den kontrollierten Bedingungen können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mehr Personen mit viel weniger Aufwand und Kosten untersuchen, als es im Weltraum möglich wäre. Bettruhestudien gelten als Goldstandard der raumfahrtmedizinischen Erforschung degenerativer Prozesse des menschlichen Körpers in Schwerelosigkeit. Sie sind komplexe und kostspielige Unternehmungen, die nicht nur von internationaler Zusammenarbeit abhängen, sondern in erheblichem Maße auch vom Engagement der Beteiligten aus verschiedenen Disziplinen.

PROFESSIONELLES LIEGEN LASSEN

Mit Bettruhestudien Weltraum-Krankheiten auf der Spur
von Philipp Burtscheidt

Für die aktuelle NASA-Bettruhestudie liegen die Probandinnen und Probanden in speziellen Unterdruckkammern. Mit diesen wird getestet, ob Unterdruck gegen unerwünschte Effekte der Schwerelosigkeit helfen kann.



HISTORIE:

Bettruhestudien haben eine lange Tradition im DLR. Die erste im Jahr 1988 diente der Vorbereitung auf die D2-Mission. Damals brachte das Space Shuttle Columbia die beiden deutschen Astronauten Ulrich Walter und Hans Schlegel mit dem Raumlabor Spacelab für zehn Tage in den Orbit. Drei Jahrzehnte später stehen mögliche Langzeitmissionen, zum Beispiel zum Mond oder Mars, im Mittelpunkt der Forschung.





Die Messung des Augeninnendrucks mittels Pneumatometrie wird im Liegen und auch in der Gegenmaßnahme „Sitzen“ durchgeführt.



Hier wird die Veränderung der Augachsenlänge gemessen, um auszuschließen, dass sich der Augapfel verkürzt.

FÜR DIE AUGENGESUNDHEIT IM ALL UND AUF DER ERDE

Im All entstehen die Augenleiden und der veränderte Augeninnendruck durch die fehlende Gravitation, auf der Erde zum Beispiel durch langes Liegen. Da die Augenschädigung von den Betroffenen nicht bemerkt werden kann und zur irreversiblen, also unumkehrbaren, Erblindung führen kann, sind ein besseres Verständnis für die Entstehung und den Verlauf der Erkrankung sowie die Entwicklung geeigneter Gegenmaßnahmen sehr wichtig – für die Menschen im Weltraum und auf der Erde.

Ein Schwerpunkt der Wissenschaft ist das Auge. Warum schwillt der Sehnervenkopf an? Warum verkürzt sich bei den erhöhten Druckverhältnissen im Kopf der Augapfel, was zu der Weitsichtigkeit führt? Die genauen Ursachen und Zusammenhänge für das Weltraum-Augenleiden sind unklar. Die Betroffenen spüren es nicht, wenn ihr „blinder Fleck“, also der Sehnervenkopf, anschwillt. Das ist gefährlich. Auch verändern sich Netz- und Aderhaut sowie der Sehnerv. Warum die Effekte nur einen Teil der Raumfliegenden treffen, ist ebenfalls noch ungeklärt. Es gibt einige Theorien, Nachweise allerdings noch nicht.

Sicher ist, dass es zu dem Augenleiden kommen kann und Präventions- und Gegenmaßnahmen notwendig sind. Bei Teilnehmenden der Betruhestudie sind die Veränderungen im Anschluss an die Studie rückläufig. Der Sehnervenkopf schwillt zwar an, allerdings regeneriert sich das Auge einige Zeit nach Studienende. Das kann nach Weltraumaufenthalten anders sein. Es gibt ehemalige Astronauten, bei denen sich das Auge nicht vollständig erholt. Sie tragen seit ihrer Rückkehr zur Erde dauerhaft eine Brille. Mit dem Ziel, Menschen auf Missionen zum Mond und Mars zu schicken, werden Aufenthalte in Schwerelosigkeit künftig immer länger dauern. Auch dann müssen Gesundheit und Sicherheit der Astronautinnen und Astronauten gewährleistet werden.

Von den Betruhestudien der vergangenen Jahre zu SANS-CM

Während der Studie VaPER im Jahr 2017 wurde das Anschwellen des Sehnervenkopfes erstmals nachgewiesen. Die Probanden – und erstmals in der Geschichte der Betruhestudien im DLR auch

DREI FRAGEN AN DLR-PROJEKTLEITER DR. EDWIN MULDER

Wozu werden Betruhestudien durchgeführt?

Der menschliche Körper ist eine auf Effizienz getrimmte Maschine. Er baut ab, was er nicht braucht. Das führt bei längeren Aufenthalten im Weltraum zu Problemen. Seit Beginn der astronautischen Raumfahrt wird daher an Gegenmaßnahmen geforscht. Mit Betruhestudien können wir die degenerativen Prozesse im Körper in Schwerelosigkeit simulieren. Und das unter standardisierten Bedingungen auf der Erde. Die Veränderungen sind bei den Studienteilnehmenden ähnlich wie bei Astronautinnen und Astronauten im All.

Qualitativ sind die Ergebnisse annähernd gleich. Das heißt, die Effekte, die in Schwerelosigkeit auftreten, stellen wir auch in den Liegephasen unserer Betruhestudien fest. Wir können somit aus unseren Messungen auf der Erde Erkenntnisse für die astronautische Raumfahrt ableiten. Quantitativ fallen die Ergebnisse auf der Erde meist etwas geringer als im All aus; sie zeigen sich also schwächer. Für die Eignung der Betruhestudie als „Weltraumanalog“ ist aber die qualitative Vergleichbarkeit ausschlaggebend.

Warum sechs Grad Kopftiefe?

Für die Untersuchung von Muskel-, Sehnen- und Knochenveränderungen ist die waagerechte Lage ausreichend. Die mechanische Nichtbelastung im All ist bereits durch ein Ruhigstellen im Liegen gut zu simulieren. Will man aber die Flüssigkeitsverteilung beim Aufenthalt in Schwerelosigkeit nachstellen, um die negativen Effekte der veränderten Flüssigkeitsverteilung und mögliche Gegenmaßnahmen zu erforschen, müssen die Teilnehmenden schräg, mit dem Kopf leicht nach unten, gelagert werden. Das Liegen in sechs Grad Kopftiefe und ohne Kissen hat sich als Standardkonfiguration für Betruhestudien etabliert, bei denen das Auge untersucht wird.

Dieser Winkel ist nicht optimal, aber ausreichend, um die physiologischen Veränderungen ähnlich wie in Schwerelosigkeit zu beobachten. Wir haben in der Vergangenheit auch Studien durchgeführt, in denen die Teilnehmenden in zwölf Grad Kopftiefe im Bett lagen. Die Ergebnisse waren etwas besser. Nur ist die Schräglage dann so stark, dass der Alltag in der Liegephase für die Probandinnen und Probanden über die Zeit zu unangenehm würde. Über Wochen so zu liegen, wäre nicht zumutbar. Die sechs Grad sind der ideale Kompromiss für

Dr. Edwin Mulder

hat in Amsterdam Sportwissenschaften studiert und interessiert sich seit jeher für das Thema Astronautentraining. Seit 2010 ist er im Bereich Betruhestudien am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin tätig. Er ist Projektleiter der Betruhestudie SANS-CM und zudem Business Developer am Institut. In dieser Rolle entwickelt er auch Programme anderer Forschungsrichtungen wie Isolationsstudien, die einen Fokus auf raumfahrtpsychologische Fragen legen.

aussagekräftige Ergebnisse bei gleichzeitiger Praktikabilität der Studierendurchführung. Die Konfiguration ist sehr gut, um mit der Simulation Gegenmaßnahmen zu testen.

Was bedeuten Betruhestudien im DLR für die internationale Raumfahrtmedizin?

Etwa zwei Drittel aller Studien dieser Art werden bei uns im DLR durchgeführt. Im Fokus stehen für die Agenturen immer mögliche Gegenmaßnahmen. Hier können wir mit der Anlage :envihab vieles ermöglichen. Die NASA hat ihre eigene Anlage zur Durchführung von Betruhestudien mittlerweile geschlossen und kommt mit allen Betruhestudien zu uns nach Köln, und auch die ESA führt ihre Studien bei uns durch. Das beweist großes Vertrauen und Zufriedenheit und macht uns stolz. Anfang des Jahres hat die NASA mit uns einen neuen Vertrag für die kommenden Jahre abgeschlossen. Wir freuen uns sehr auf die Fortsetzung der langjährigen Zusammenarbeit.

Für uns ist es eine Win-win-Situation. Betruhestudien sind sehr teuer und benötigen intensive Vorbereitungen. Eigene DLR-Studien wären kaum möglich. Die Zusammenarbeit mit der internationalen Wissenschaftscommunity und die finanzielle Unterstützung sind daher elementar. Über die Jahre hat sich ein weltweites Netzwerk aus Spezialistinnen und Spezialisten der unterschiedlichsten Disziplinen aus dem Bereich Raumfahrtmedizin gebildet, in dem wir eine zentrale Position einnehmen.



Nov. 2010 bis April 2011

SAG (Simulated artificial gravity)

- 5 Tage Bettruhe in -6° Kopftiefe
- 10 Probanden
- ▶ 30 Minuten Bewegungersatz-Training im Vergleich mit Stehen als Gegenmaßnahme
- ▶ ESA-Studie

Sep. 2011 bis Mai 2012

MEP (Medium-term bedrest whey protein study)

- 21 Tage Bettruhe in -6° Kopftiefe
- 10 Probanden
- ▶ Untersuchung eines Molkenproteins in der Nahrung als Gegenmaßnahme
- ▶ ESA-Studie

Juni bis Juli 2015

SpaceCOT (Studying the physiological and anatomical cerebral effects of CO₂ during head-down tilt)

- 28 Stunden Bettruhe in -12° Kopftiefe
- 6 Probanden
- ▶ Teilweise kohlendioxidangereicherte Umgebungsluft im Doppel-Blindversuch
- ▶ Auswirkungen der Verschiebung der Körperflüssigkeiten in die obere Körperhälfte und des erhöhten Kohlendioxidgehalts auf Gehirn und Augen

März bis Juli 2016

IPCog (Intracranial pressure and brain function: effects of HDT upon brain perfusion and cognitive performance)

- 3 Tage Bettruhe in -12° Kopftiefe und 3 Tage horizontales Liegen
- 13 Probanden
- ▶ Vergleich der kognitiven Leistungsfähigkeit bei -12° Kopftiefe und horizontaler Lage

Sep. 2015 bis April 2016

RSL (Reactive jumps in a sledge jump system as a countermeasure during long-term bedrest)

- 60 Tage Bettruhe in -6° Kopftiefe mit Kissen
- 23 Probanden
- ▶ Sprünge in horizontalem Schlitten als Gegenmaßnahme gegen Muskel- und Knochenabbau bedingt durch Langzeit-Bettruhe
- ▶ ESA-Studie

2017

VaPER (VIIP and psychological :envihab research study)

- 30 Tage Bettruhe in -6° Kopftiefe ohne Kissen
- 12 Probandinnen und Probanden, also erstmals mit Frauen als Teilnehmende
- ▶ Auswirkung von erhöhtem CO₂-Gehalt in der Luft (0,5%) auf die Entwicklung von Augenleiden
- ▶ Erste längere Betruhestudie mit der NASA

Probandinnen – lagen 30 Tage in Sechs-Grad-Kopftieflage im Bett. Ohne Kissen, eine weitere Premiere. Das mag nebensächlich klingen, war aber ein wichtiger Fortschritt: Erst ohne Kissen konnten die Forscherinnen und Forscher die Augenveränderungen mit speziellen Untersuchungen nachweisen. Zuvor veränderte sich das Auge der Probanden noch nicht „weltraumanalog“.

Die Ergebnisse der Nachfolgestudie AGBRESA im Jahr 2019 bestätigten die Veränderung des Sehnervenkopfes. Als Gegenmaßnahme wurden Fahrten auf der Kurzarm-Humanzentrifuge des DLR getestet. Die Fliehkraft sorgte für künstliche Gravitation. Die Körperflüssigkeiten verschoben sich während der täglichen 30-minütigen Fahrten Richtung Füße und der Druck im Kopf ging zurück. Klar wurde durch AGBRESA, dass 30 Minuten nicht ausreichen, um die ungewollten Effekte der Schwerelosigkeit auf den Körper aufzuhalten. Längere oder mehrere über den Tag verteilte Fahrten wären im Alltag auf einer Raumstation oder beim Langzeitraumflug kaum unterzubringen. Den Forschenden wurde klar: Es muss eine Gegenmaßnahme sein, die Astronautinnen und Astronauten in ihren Arbeitsalltag integrieren können – wenn nötig, auch für Stunden.

Sollte sich Unterdruck bei der aktuellen SANS-CM-Studie als taugliche Gegenmaßnahme erweisen, könnte man Unterdruckhosen entwickeln, die über längere Zeit getragen werden können, ohne dass



Sechs Testpersonen verbringen während der Liegephase pro Tag zweimal drei Stunden in den Unterdruckkammern, in denen circa drei Prozent weniger Druck als in der Umgebung herrschen.

Raumfahrerinnen und Raumfahrer ihren Arbeitsablauf unterbrechen müssten. Um die Tauglichkeit der Maßnahme zu testen, bauten die DLR-Institute für Luft- und Raumfahrtmedizin sowie Materialphysik im Weltraum zusammen mit dem Systemhaus Technik des DLR und in Abstimmung mit der NASA die Unterdruckkammern LBNP (Lower Body Negative Pressure Device). Sie umschließen den Körper von der Taille abwärts. In der Kammer ist der Druck um 25 mmHg vermindert und zieht Blut und Flüssigkeiten so in die untere Körperhälfte. MmHg bedeutet „Millimeter Quecksilbersäule“, die Maßeinheit für Drücke. 25 mmHg entsprechen etwa drei Prozent des atmosphärischen Luftdrucks auf der Erde.

Um die Wirksamkeit bewerten zu können, wurden in der Liegephase eine Vielzahl an Untersuchungen und Experimenten durchgeführt. So maßen die DLR-Fachleute der klinischen Luft- und Raumfahrtmedizin um die Augenärztin und Abteilungsleiterin Dr. Claudia Stern unter anderem regelmäßig den Augeninnendruck und untersuchten Netzhaut und Sehnerv sowie mittels MRT das Gehirn. Auch das Herz-Kreislauf-System unterlag ständiger Beobachtung. Die sogenannte optische Kohärenztomographie registrierte Veränderungen an Netzhaut und Sehnerv. Die NASA nutzt diese Methode auf der Internationalen Raumstation ISS und das DLR-Gerät wird auch bei den Studien eingesetzt. Mit ihm lassen sich Veränderungen an der Netzhaut mikromergenau verorten.



Essen im Liegen und bei Kopftieflage, das ist zumindest am Anfang ungewohnt.



2019

AGBRESA
(Artificial gravity bedrest study)

- 60 Tage Betruhe in -6° Kopftieflage ohne Kissen
- 24 Probandinnen und Probanden

- ▶ Untersuchung von künstlicher Schwerkraft als Gegenmaßnahme; erster Einsatz der DLR-Kurzarm-Humanzentrifuge in einer Betruhestudie
- ▶ Erste gemeinsame Betruhestudie von DLR, ESA und NASA



Ab 2021

SANS-CM
(Spaceflight associated neuro-ocular syndrome-countermeasures)

- 30 Tage Betruhe in -6° Kopftieflage ohne Kissen
- 48 Probandinnen und Probanden

- ▶ Test der Gegenmaßnahme Unterdruckkammer im Vergleich zu täglich 6 Stunden aufrechtem Sitzen gegen Augenleiden sowie Test der Gegenmaßnahme Radfahren in Kopftieflage
- ▶ DLR-NASA-Studie

In den ersten beiden Studienkampagnen von SANS-CM verbrachten jeweils zwölf Teilnehmerinnen und Teilnehmer insgesamt knapp 60 Tage im :envihab, der medizinischen Forschungsanlage des DLR: zwei Wochen Vorbereitung und Eingangsuntersuchungen, 30 Tage Liegephase im Bett und zwei Wochen Nachuntersuchungen und Aufbaustraining. Sechs Personen lagen während der Bettphase zweimal am Tag für drei Stunden in einer Unterdruckkammer. Die anderen sechs Personen aus der Kontrollgruppe saßen aufrecht auf einem Pflegestuhl, ebenfalls zweimal täglich für jeweils drei Stunden. In der dritten und vierten Kampagne sollen Oberschenkelmanschetten in Verbindung mit einem speziellen Radfahrtraining zum Einsatz kommen. Bis die Ergebnisse der NASA-Studie SANS-CM vorliegen, wird es noch einige Zeit dauern. Wer weiß, vielleicht werden die Raumfahrerinnen in Zukunft dank der am DLR gewonnenen Daten mit Unterdruckhosen durchs All reisen.

Philipp Burtscheidt ist Redakteur in der DLR-Kommunikation.

Diese Pumpen sorgen für den Unterdruck in den LBNP-Kammern, in denen die Probandinnen und Probanden täglich insgesamt sechs Stunden mit dem Unterkörper liegen. Damit die Betriebsgeräusche nicht stören, stehen sie außerhalb der Zimmer.



WAS IST DAS :envihab?

In dieser einzigartigen luft- und raumfahrtmedizinischen Forschungseinrichtung des DLR in Köln werden unter anderem die Betruhestudien durchgeführt. Auf 3.500 Quadratmetern beherbergt es acht nach dem Haus-im-Haus-Prinzip konzipierte Module. Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten liegen in den Bereichen Weltraum- und Flugphysiologie, Strahlenbiologie, Luft- und Raumfahrtpsychologie, operationelle Medizin, Biomedizin sowie analoge terrestrische Szenarien wie beispielsweise die Betruhestudien. Es gibt eine Kurzarm-Humanzentrifuge, Laboratorien, in denen die Wirkung von Sauerstoffreduktion und Druck untersucht werden, eine Ganzkörper-MRT/PET-Anlage, Bereiche, in denen psychische Stress- und Erholungssituationen simuliert werden können, sowie mikro- und molekularbiologische Forschungsinstrumente. Der Name :envihab ist eine Verschmelzung von „environment“ (Umwelt) und „habitat“ (Lebensraum).

📍 DLR.de/me