



©ESA/NASA

Schlaf im Weltraum

Der wohl außergewöhnlichste Arbeits- und Aufenthaltsort des Menschen liegt außerhalb der Erde. Der Aufenthalt im Weltraum, z.B. auf der Internationalen Raumstation (ISS), bringt ganz spezielle Bedingungen für Schlaf und Leistungsfähigkeit mit sich. Mit ca. 6 Stunden ist die Schlafdauer der Raumfahrer sehr kurz. Der Gebrauch von Schlafmitteln ist hoch. Es ist anzunehmen, dass Raumfahrer einem erheblichen Schlafdefizit ausgesetzt sind.

DANIEL AESCHBACH

Das Vordringen in den Weltraum muss zweifellos als eine enorme wissenschaftliche und technische Leistung des Menschen betrachtet werden. Dies besonders, da der Aufenthalt in einer absolut lebensfeindlichen Umwelt ohne Atmosphäre und Sauerstoff, mit extremen Temperaturen, erhöhter Strahlung und ohne 24-stündigen Tag-Nacht-Zyklus gewährleistet werden muss. Hinzu kommt die Schwerelosigkeit bei Raumfahrzeugen oder Raumstationen in einer Umlaufbahn. Der Rekord des längsten Aufenthalts im All stammt von Valery Polyakov, der zwischen 1994 und 1995 438 Tage auf der Raumstation MIR verbrachte. Gegenwärtig sind längere, d.h. mehrmonatige Weltraumaufenthalte auf der seit 1998 betriebenen International Space Station (ISS) möglich, die auf einer Umlaufbahn in ca. 400 km Höhe und mit einer Geschwindigkeit von 28000 km/h die Erde umkreist.

Ein sicheres und effizientes Arbeiten im Weltraum setzt eine(n) leistungsfähige(n) Astronauten/in voraus. Adäquater Schlaf, d.h. genügend und ungestörter Schlaf, ist eine wichtige Grundvoraussetzung für eine uneingeschränkte Leistungsfähigkeit, aber auch für psychisches Wohlbefinden und körperliche Gesundheit. Dagegen gehören Schlafmangel und Müdigkeit („Fatigue“) zu den häufigsten Beschwerden von Raumfahrern. In der Tat, die NASA definiert in ihrer aktuellen Human Research Roadmap menschliche Fehler bedingt durch Müdigkeit als Folge von Schlafmangel, zirkadianer Desynchro-

nisation, langen Wachzeiten und erhöhter Arbeitsbelastung explizit als ein Risiko in der Raumfahrt, das durch entsprechende Forschungsanstrengungen künftig reduziert werden muss, insbesondere für die geplanten längeren Missionen zum Mond und zum Mars (<http://humanresearchroadmap.nasa.gov/Risks/>).

Ein Bett im Weltraum?

Schwerelosigkeit bringt es mit sich, dass es auf Raumfahrtmissionen weder ein Oben noch ein Unten gibt – und auch kein Bett. Damit Astronauten im Schlaf nicht frei herumflottern und sich anstoßen, benutzen sie normalerweise einen Schlafsack, der an einer Wand befestigt wird. Auf der ISS (siehe A. Gerst 2014, Bild oben) gibt es dafür individuelle Schlafstationen, die etwa der Größe einer Telefonzelle entsprechen. Im Gegensatz zum Space Shuttle, wo solche individuellen Schlafstationen fehlten, bieten diese einen gewissen Schutz vor großem Lärm durch Klimaanlage und Geräte und Schutz vor Helligkeit und Temperaturwechsel, die sich durch die alle 90 Minuten wiederkehrenden Sonnenaufgänge ergeben.

Verkürzte Schlafdauer im Weltraum

Verschiedene Untersuchungen mittels Schlaftagebüchern, Aktigraphie und Polysomnographie zeigten übereinstimmend, dass die tägliche Schlafdauer von Astronauten auf Raumfahrtmis-

Schlaf 2014; 3: 224–228

sionen ca. 6 Stunden beträgt (1, 2). Damit liegt die tägliche Schlaflänge deutlich unter 8 Stunden, welche die NASA für Astronauten empfiehlt, und in einem Bereich, welcher in Studien an Probanden auf der Erde bereits nach einer Woche zu einem deutlichen Abbau der kognitiven Leistung, einschließlich Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Entscheidungsverhalten, führte.

Die verkürzte Schlaflänge auf Raumfahrtmissionen wurde in einer kürzlich erschienen großen Beobachtungsstudie während mehr als 1000 Aufzeichnungstagen im amerikanischen Space Shuttle und mehr als 3000 Tagen auf der ISS mittels Aktigraphie bestätigt (3). Diese Studie machte zudem eine Reihe weiterer bemerkenswerter Beobachtungen. So wurde gezeigt, dass sich die Schlaflänge auch im längeren Verlauf einer ISS-Mission nicht veränderte, aber in der ersten Woche nach Rückkehr auf die Erde um knapp eine Stunde zunahm.

Schlafmittel im Weltraum

Barger und Kollegen beobachteten zudem, dass rund drei Viertel der untersuchten Astronauten auf Space-Shuttle-Missionen und auf der ISS von Schlafmitteln Gebrauch machten. In 52 % der aufgezeichneten Space-Shuttle-Nächte wurde ein Schlafmittel eingenommen, manchmal sogar zwei Dosen in einer Nacht. Zolpidem und Zolpidem mit kontrollierter Freisetzung waren die am häufigsten verwendeten Substanzen. Tatsächlich ist die Häufigkeit des Schlafmittelgebrauchs auf Raumfahrtmissionen 20-mal höher als der Prozentsatz der U.S.-Bevölkerung, die zu irgendeinem Zeitpunkt pro Jahr von Schlafmitteln Gebrauch macht (3, 4).

Interessanterweise verbessern Schlafmittel zwar die subjektive Schlafqualität von Astronauten, während die Schlafdauer jedoch unverändert kurz bleibt. Damit stellt sich die Frage nach dem Kosten/Nutzen-Verhältnis des Schlafmittelgebrauchs in der Raumfahrt, gerade wenn man an mögliche Neben- und Nachwirkungen (z.B. auf kognitive Leistung, Gedächtnis, Gleichgewicht, Verhalten) solcher Substanzen denkt, insbesondere vor dem Hintergrund der anspruchsvollen und gefährlichen Aufgaben eines Astronauten (z.B. bei Aktivitäten außerhalb eines

Raumfahrzeugs oder einer Raumstation, sogenannten ‚extravehicular activities‘, EVAs).

Barger et al. (3) berichteten, dass in 60 % der Nächte vor Space-Shuttle-EVAs Schlafmittel eingenommen wurden. Zu Besorgnis gibt auch ein denkbares Szenario Anlass, wonach ein Astronaut bei einem Notfall vorzeitig geweckt werden und schnell einsatzfähig sein müsste, während eine Restkonzentration an Schlafmitteln im Körper vorhanden wäre.

Dass Astronauten zu Schlafmitteln Zuflucht nehmen trotz einer ohnehin kurzen Schlaflänge, ist bemerkenswert. Auf der Erde erhöht Schlafmangel aufgrund verkürzten Schlafs normalerweise den homöostatischen Schlafdruck und damit verbunden die Schlafqualität (mehr Tiefschlaf, weniger Schlafunterbrechungen). Auch wenn die Zahl der polysomnographisch untersuchten Astronauten für statistische Analysen meist zu klein war, so scheint es auf Raumfahrtmissionen eher zu einer Abnahme als zu einer Zunahme des Tiefschlafanteils zu kommen (5). Eine Umverteilung des REM-Schlafs während der Nächte im All und eine Zunahme des REM-Schlafs nach Rückkehr auf die Erde wurde ebenfalls beschrieben (2).

Insgesamt scheint es also so zu sein, dass die Bedingungen auf Raumfahrtmissionen nicht nur die Schlafdauer, sondern auch die Schlafstruktur negativ beeinflussen. Interessanterweise kann ein theoretisch denkbarer Faktor, erhöhte schlafbezogene Atmungsstörungen, ausgeschlossen werden. Im Gegenteil, Untersuchungen an Space-Shuttle-Astronauten zeigten einen erniedrigten Apnoe-Hypopnoe-Index im Weltraum im Vergleich zur Erde (6). Sozusagen als Nebenprodukt konnte damit die wichtige Rolle der Schwerkraft für das Entstehen von Apnoen gezeigt werden.



Abb. 1 Alexander Gerst 2014 in der ISS, in der u.a. Experimente zum zirkadianen Rhythmus des Menschen durchgeführt werden.

Die Bedingungen in Raumstationen verschlechtern die Schlafdauer und Schlafstruktur.

Es sind wahrscheinlich eine Vielzahl von Faktoren, die zu vermindertem Schlaf im Weltraum beitragen, u.a. zirkadiane Desynchronisation, ungünstige Lichtverhältnisse, Schwerelosigkeit, ein großes tägliches Arbeitspensum und Lärm. Auf einige wird im Folgenden eingegangen.

Zirkadiane Desynchronisation

Im Weltraum ist der endogene zirkadiane Rhythmus nicht mehr durch den irdischen 24-Stunden-Tag-Nachtzyklus synchronisiert. Auf der ISS erleben die Besatzungsmitglieder 16 Sonnenaufgänge und -untergänge in einem 24-Stunden-Tag. Licht ist der stärkste Zeitgeber des zirkadianen Systems. Die Kombination von rasch wechselndem natürlichem Licht und dem künstlichen Licht innerhalb eines Raumfahrzeugs oder einer Raumstation kann den zirkadianen Rhythmus beeinflussen. Extreme Wechsel in der Lichtintensität konnten in der Nähe von Fenstern gemessen werden, während an anderen Orten z.B. im Innern der ISS alternde Leuchtstoffröhren eher wenig Licht abgeben.

Verschiebungen in der zirkadianen Phasenlage wurden in Untersuchungen an Astronauten auf der Raumstation MIR (1) und im Space-Shuttle (Neurolab) (2) gemessen.

Sogenanntes „Slam Shifting“, d.h. der abrupte Wechsel des Schlaf-Wach-Plans der Besatzungsmitglieder, um Andockmanöver oder andere kritische Operationen zu gewährleisten, kann ebenfalls zu zirkadianer Desynchronisation führen; in diesen Fällen ist der Astronaut gezwungen, außerhalb der endogenen biologischen Nacht Schlaf zu finden. Neben beeinträchtigtem Schlaf

können Müdigkeit und verminderte Leistungsfähigkeit die Folgen sein.

Auf zukünftigen Marsmissionen könnte zirkadiane Desynchronisation ein besonderes Problem werden. Der natürliche Tag-Nacht-Zyklus auf der Marsoberfläche ist 24,65 Stunden lang und damit deutlich länger als die mittlere Periodenlänge des zirkadianen Systems der meisten Menschen (Mittelwert: 24,2 Stunden). Laborstudien auf der Erde haben gezeigt, dass sich wahrscheinlich viele Menschen ohne spezifische Gegenmaßnahmen, d.h. ohne genau getimtes Licht von ausreichender Intensität, nicht einem solchen langen Zyklus anpassen können.

Gewisse praktische Erfahrungen gibt es beim Bodenkontrollpersonal unbemannter amerikanischer Marsmissionen. Um mit den Sonden auf der Marsoberfläche interagieren zu können, versuchte das Personal im Missionskontrollzentrum, auf einem Marstag zu leben, was in früheren Missionen zu vielen Beschwerden über Müdigkeit, Konzentrationschwächen und Reizbarkeit und schließlich zur Aufgabe des Marstages auf der Erde führte.

Dagegen wurde kürzlich vom Erfolg eines ‚circadian rhythm and fatigue management programs‘ für eine Gruppe von Mitarbeiter im Kontrollzentrum während der Phoenix Mars Lander Mission berichtet: mit entsprechenden Maßnahmen, u.a. gezielten Blaulichtexpositionen am Arbeitsort, konnte sich die Mehrheit der untersuchten Mitarbeiter an den künstlichen Marstag anpassen (7) – ein vielversprechendes Ergebnis für zukünftige bemannte Missionen zum Mars.

Lärm, Schwerelosigkeit, Arbeitspensum

Lärm, bedingt durch die Belüftungsanlage und viele andere Geräte, stellte in früheren Raumfahrzeugen einschließlich des Space Shuttles ein größeres Problem für Erholung und Schlaf der Astronauten dar. So wurden z.T. mittlere Schalldruckpegel von 70 dB und mehr in der Nähe der

Eine bemannte Marsmission muss mit zirkadianer Desynchronisation rechnen; der Zyklus dort beträgt 24,65 Stunden.



© ESA/NASA

Abb. 2 Im Mars500-Projekt wurde die Wirkung von Blaulichtexpositionen auf den Menschen getestet. Auf künftigen Missionen könnte Blaulicht zur Anpassung an den 24,65-stündigen Marstag genutzt werden.

Schlaforte gemessen. In den letzten Jahren konnte dieses Problem auf der ISS sowohl in den amerikanischen (Reduktion auf ca. 50 dB) als auch in den russischen Schlafstationen reduziert werden. Trotzdem hat z.B. im Vergleich zum Space Shuttle die Schlafdauer der Astronauten auf der ISS kaum zugenommen. Dies lässt vermuten, dass andere Aspekte der Raumfahrtumgebung wie möglicherweise die Schwerelosigkeit eine schlafstörende Wirkung haben.

NASA-Bestimmungen geben für Astronauten derzeit eine 8,5-stündige tägliche Ruhezeit für Schlaf vor. Die gemessene Ruhezeit („time in bed“) auf der ISS ist im Durchschnitt allerdings um mehr als eine Stunde kürzer (3). Raumfahrer haben typischerweise einen dicht gedrängten Arbeitstag. Ein großes Arbeitspensum und eine hohe Arbeitsbelastung sind wohl auch die Gründe, weshalb Astronauten ihre wenige Freizeit in den „Abend“ und in ihre vorgesehene Ruhezeit verlegen. Eine Reduktion des Arbeitspensums könnte ein Ansatz sein, nicht nur die Ruhezeit, sondern damit vielleicht auch die Schlafdauer von Astronauten zu beeinflussen.

Zukünftige Aufgaben

Schlaf ist ein Schlüssel für Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden des Menschen sowohl auf der Erde als auch ganz besonders in der Raumfahrt. Gerade im Hinblick auf die geplanten zukünftigen längeren Raumfahrtmissionen ist eine Verbesserung der Schlafqualität und -quantität der Astronauten anzustreben. Schlaf sollte mit objektiven Methoden (z.B. Aktigraphie) nicht nur zu Forschungszwecken, sondern im Sinne der Überwachung der Gesundheit der Astronauten routinemäßig vor, während und nach einer Raumfahrtmission aufgezeichnet werden. Ähnliches gilt für die langfristige Überwachung der kognitiven Leistungsfähigkeit.

Die geringe Wirksamkeit von traditionellen Schlafmitteln verlangt nach besseren Gegenmaßnahmen („countermeasures“). Neben Verhaltensmaßnahmen sollte z.B. der Nutzen des gezielten Einsatzes von Licht mit geeigneter Intensität und spektraler Zusammensetzung zur Verminderung von Müdigkeit und zirkadianer Desynchronisation untersucht werden. Erste Versuche auf der ISS

mit modernen LED-Lichtquellen sind in Vorbereitung. Nicht alle Menschen sind gleich vulnerabel in Bezug auf die Wirkung von Schlafmangel und zirkadianer Desynchronisation. Dies gilt auch für Astronauten. Längerfristig sollten nicht nur Biomarker für das Erkennen von Schlafdefiziteffekten, sondern – im Sinne einer personalisierten Medizin – auch individualisierte Gegenmittel entwickelt werden.

:envihab – eine neue Forschungsanlage am DLR

Am Standort Köln des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde 2013 eine neue, einzigartige medizinische Forschungseinrichtung, :envihab („environment“ = Umwelt und „habitat“ = Lebensraum), eröffnet (<http://www.dlr.de/envihab/>). In verschiedenen Modulen auf insgesamt 3500 Quadratmetern können die Wirkungen externer Umweltbedingungen auf den Menschen und mögliche Gegenmaßnahmen erforscht werden. In individuellen Probandenräumen können Schlafstudien und mehrwöchige Betruhestudien mit Kopftieflage zur Simulation der Mikrogravitation durchgeführt werden. Eine programmierbare Lichtanlage auf LED-Basis ermöglicht es, die Wirkungen von Licht unterschiedlicher Intensität und spektraler Zusammensetzung zu erforschen.

In einem anderen Labor können die Wirkungen von Sauerstoffreduktion, Kohlendioxidhöhung und Druck untersucht werden, und in weiteren Räumen können Probanden gezielt psychischen Stress- und Erholungssituationen ausgesetzt werden. Eine Ganzkörper-MRT/PET-Anlage erlaubt die Anwendung von bildgebenden Verfahren.

Ziel von :envihab ist es, ein Netzwerk aus Wissenschaft, Industrie und Öffentlichkeit zu schaffen, um künftige Herausforderungen der bemannten Raumfahrt zu erforschen und neue Anwendungsmöglichkeiten für die Verbesserung des Lebens auf der Erde zu entdecken.



Abb. 3 Im :envihab des DLR können u.a. Schlafstudien und mehrwöchige Betruhestudien mit Kopf-Tieflage zur Simulation der Wirkung von Mikrogravitation durchgeführt werden (mit Genehmigung des DLR).

Autor



Dr. sc. nat. Daniel Aeschbach

Abt. Flugphysiologie, Inst. für Luft- und Raumfahrtmedizin, DLR Köln
E-Mail: daniel.aeschbach@dlr.de

Literatur

1. Gundel A, Polyakov VV, Zullej J. The alteration of human sleep and circadian rhythms during spaceflight. *J Sleep Res* 1997; 6(1): 1–8.
2. Dijk DJ, Neri DF, Wyatt JK, Ronda JM, Riel E, Ritz-De CA, et al. Sleep, performance, circadian rhythms, and light-dark cycles during two space shuttle flights. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2001; 281(5): R1647–R1664.
3. Barger LK, Flynn-Evans EE, Kubey A, Walsh L, Ronda JM, Wang W, et al. Prevalence of sleep deficiency and use of hypnotic drugs in astronauts before, during, and after spaceflight. *Lancet Neurol* 2014; 13(9): 904–912.
4. Putcha L, Berens KL, Marshburn TH, Ortega HJ, Billica RD. Pharmaceutical use by U.S. astronauts on space shuttle missions. *Aviat Space Environ Med* 1999; 70(7): 705–708.
5. Monk TH, Buysse DJ, Billy BD, Kennedy KS, Willrich LM. Sleep and circadian rhythms in four orbiting astronauts. *J Biol Rhythms* 1998; 13(3): 188–201.
6. Elliott AR, Shea SA, Dijk DJ, Wyatt JK, Riel E, Neri DF, et al. Microgravity reduces sleep-disordered breathing in humans. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164(3): 478–485.
7. Barger LK, Sullivan JP, Vincent AS, Fiedler ER, McKenna LM, Flynn-Evans EE, et al. Learning to live on a Mars day: fatigue countermeasures during the Phoenix Mars Lander mission. *Sleep* 2012; 35(10): 1423–1435.