

Gefährliche Leichtigkeit des Seins

In der Schwerelosigkeit spielt unser Immunsystem verrückt. Der Mediziner und Zellbiologe Oliver Ullrich untersucht, weshalb und ob Immunzellen sich anpassen könnten. Dafür geht er auch in die Luft. Von Susanne Haller-Brem

Seit den ersten Apollo-Missionen in den 1970er-Jahren ist bekannt, dass Astronauten bei längeren Aufenthalten im All verstärkt unter Atemwegserkrankungen, Harnwegsinfektionen, Hautpilzen, schwer heilenden Wunden und aufflammenden Viruserkrankungen im Nervensystem leiden. Offenbar ist die Immunabwehr im Weltraum geschwächt. Auch der Knochenstoffwechsel funktioniert in der Schwerelosigkeit nicht mehr richtig. Dies wurde der breiten Öffentlichkeit jedoch kaum bewusst, denn Krankheiten vertragen sich schlecht mit dem Image von durchtrainierten Helden.

Inzwischen ist die bemannte Raumfahrt in eine neue Ära getreten. Künftig werden Astronauten nicht mehr nur wenige Wochen, sondern Monate und Jahre in der Schwerelosigkeit leben und arbeiten. «Doch erdferne Missionen wie zum Beispiel ein Flug auf den Mars sind kaum denkbar, ohne dass wir wissen, ob und wie sich menschliche Immunzellen an die Schwerelosigkeit im All anpassen können», sagt Oliver Ullrich, Professor am Anatomischen Institut der Universität Zürich und Honorarprofessor für Weltraumbiotechnologie in Magdeburg.

Fatale Folgen für das Gehirn

Oliver Ullrich schätzt, dass bei Langzeitflügen im All die grösste Gefahr für das Gehirn besteht. Denn hier ist eine fein regulierte und kontrollierte Immunüberwachung lebenswichtig. Normalerweise haben wir in unserem Nervensystem eine Reihe von Viren, die vom Immunsystem gut unter Kontrolle gehalten werden. In der Schwerelosigkeit erwachen diese Viren aufgrund des gestörten Immunsystems zu neuer Aktivität, was schnell lebensbedrohliche Folgen haben kann.

Bereits in den 1980er-Jahren konnte der ETH-Forscher Augusto Cogoli mit Experimenten an Bord der Spacelab-Missionen zeigen, dass bestimmte menschliche Immunzellen in der Schwerelosigkeit nahezu vollständig ihren Dienst ver-

weigern. Mit diesem Pionierexperiment war erstmals belegt, dass die gestörte Immunfunktion nicht allein auf die Stressreaktion des Gesamtorganismus zurückzuführen ist, sondern auch auf eine direkte Wirkung der Schwerelosigkeit auf die Zellen. Doch weshalb das Immunsystem in der Schwerelosigkeit nicht mehr richtig funktioniert, weiss man bis heute nicht. Auch ist nur wenig darüber bekannt, wie Zellen von Säugetieren die Schwerkraft wahrnehmen.

«Technologisch sind wir im Zeitalter der Raumfahrt, die biomedizinische Weltraumforschung steckt aber eher noch in der Steinzeit», bemerkt Ullrich lachend. Damit sich das möglichst schnell ändert, nutzt der 41-Jährige das ganze Repertoire an Forschungsmöglichkeiten. Modelle von Flugzeugen, Forschungsraketen und der Internationalen Raumstation (ISS) in seinem Büro sowie Fotos von Crews in blauen Overalls und von eindrucksvollen Raketenstarts machen klar, dass diese Forschung unter aussergewöhnlichen Bedingungen stattfindet.

Im freien Fall

Forschung in Schwerelosigkeit und unter Weltraumbedingungen ist nur beschränkt möglich, aufwendig und enorm teuer. Dank so genannten Parabelflügen mit einem Airbus A300 ZERO G können Ullrich und sein Team relativ regelmässig in der Schwerelosigkeit experimentieren. Solche Flüge sind die einzige Alternative zu teuren Experimenten auf Forschungsraketen oder auf der ISS, für die es wegen der beschränkten Kapazitäten jahrelange Vorbereitungszeiten braucht. Die Parabelflugkampagnen werden teils vom Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR), teils von der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) in Zusammenarbeit mit Novespace, dem Betreiber des A300 ZERO G, organisiert. Durch wiederholte Flugmanöver mit extremen Steig- und Sturzflügen wird bei jeder Parabel jeweils für etwa



Forschen ohne Schwerkraft: Oliver Ullrich während eines Para-



belflugs mit einem Airbus A300 ZERO G.

22 Sekunden Schwerelosigkeit erzeugt. «Während dieser Zeit können wir an Bord in unserem fliegenden Zellkulturlabor untersuchen, wie die Immunzellen auf die Schwerelosigkeit reagieren», erzählt Oliver Ullrich. Alle Forschungsapparaturen an Bord müssen speziell robust sein und strenge Sicherheitsauflagen erfüllen. Um dies zu gewährleisten, arbeiten Forschungsgruppen aus den verschiedensten Bereichen wie Biologie, Material- und Ingenieurwissenschaften, Physik und Medizin zusammen. Während eines etwa dreistündigen Flugs werden mit dem Airbus 31 Parabeln geflogen, das bedeutet 31 mal 22 Sekunden Schwerelosigkeit, um die monatelang vorbereiteten Experimente durchzuführen. Ullrich und seine Crew müssen während des Fluges immer wieder die Zellbehälter im Versuchsmodul austauschen und die Geräte sekundengenau steuern. Damit alles klappt, braucht es ein gut eingespieltes, routiniertes Team.

Forschen mit dem Tiger

Schnelle und wiederholbare Versuchsabläufe, wie sie in der biomedizinischen Forschung üblich sind, lassen sich auch mit dem A300 ZERO G nicht realisieren. Um dem abzuwehren, haben die Universität Zürich und die Schweizer Luftwaffe vor zwei Jahren ein weltweit einzigartiges Forschungsvorhaben in der Raumfahrtmedizin gestartet.

Im Rahmen regulärer militärischer Übungsflüge wird mit einem Tiger-Kampfflugzeug ein Parabelflug geflogen und so rund 40 Sekunden Schwerelosigkeit erzeugt. Während des Parabelfluges führt eine im Tiger installierte Versuchsapparatur Experimente mit menschlichen Immunzellen vollautomatisch durch. Diese spezielle Apparatur wurde an der Fachhochschule Jena zusammen mit der Universität Zürich und der RUAG Aviation entwickelt. «Endlich haben wir einen leichteren Zugang zur Schwerelosigkeit. So können wir Hypothesen schneller und einfacher testen», freut sich Ullrich.

Von einzelligen Organismen ist bekannt, dass die Schwerkraft über bestimmte Rezeptoren wahrgenommen wird. Bei Zellen von Säugetieren funktioniert diese Art von Wahrnehmung nicht. Ullrichs Team hat gute Hinweise dafür, dass Schwerkraft-sensitive Vorgänge im Inneren der Zellen existieren. Allerdings wird die Schwerkraft wahrscheinlich nicht über die Aktivierung



40 Sekunden Schwerelosigkeit: Parabelflüge mit einem Tiger-Kampfflugzeug der Schweizer Luftwaffe machen dies möglich.



eines einzelnen Moleküls wahrgenommen, sondern wegen der veränderten Kraftwirkung auf Strukturen der Zelle.

Aus den Parabelflug-Experimenten wissen die Zürcher Forscher und Forscherinnen, dass die verschiedenen Zelltypen des Immunsystems ganz unterschiedlich auf den Wegfall der Schwerkraft reagieren. T-Lymphozyten zum Beispiel verlieren ihre Aktivität in der Schwerelosigkeit fast vollständig, während Makrophagen – die Fresszellen des Immunsystems, die Eindringlinge unschädlich machen – ohne Anlass überreagieren. Auch ändert sich in der Schwerelosigkeit die Aktivität bestimmter Gene. All diese Reaktionen beginnen innerhalb weniger Sekunden.

Überleben dank Sicherheitsreserven

Weshalb sterben also Astronauten nicht schon auf kürzeren Missionen, wenn ein Teil der Immunzellen in Zellkulturversuchen schon innerhalb weniger Sekunden den Dienst verweigert? «Glücklicherweise haben wir im menschlichen Körper eine enorme Sicherheitsreserve bei allen lebenswichtigen Systemen», erklärt Oliver Ullrich. Ein Beispiel sind HIV-Patienten, die theoretisch eine Zeitlang ohne Behandlung überleben können. Bei Astronauten finde man schon nach wenigen Tagen im All klinisch eine ganze Menge von Zeichen der Immunstörung, schwerste Krankheiten habe es – ausser bei einem sowjetischen Kosmonauten – bisher aber noch nicht gegeben. Und das Immunsystem der Astronauten erholt sich nach der Rückkehr auf die Erde rasch wieder.

Ob die Veränderungen in den Immunzellen nur kurzfristig sind oder länger andauern, werden die Auswertungen der im letzten Jahr durchgeführten Versuche an Bord der Forschungsraketenmission «Texus-49» des DRL und der chinesisch-deutschen Weltraummission «Shenzhou-8» zeigen. Diese Daten aus fünf Minuten respektive rund zwei Wochen Schwerelosigkeit sind eine wichtige Basis für Experimente, die in den nächsten fünf Jahren auf der ISS unter Leitung von Oliver Ullrich durchgeführt werden. Das internationale Forschungsvorhaben wurde letztes Jahr in einem strengen Verfahren ausgewählt. Fünf hochkarätige Forscherteams aus der Schweiz, den USA, Russland und Deutschland werden untersuchen, ob und wie sich menschliche Zellen an veränderte Schwerkraftbedingun-

gen anpassen können. Erforscht wird auch, ob diese Anpassung mit Medikamenten verbessert oder vielleicht überhaupt erst ermöglicht werden kann. Laut Ullrich haben Eingriffe mit Medikamenten nur dann eine Chance, wenn es gelingt, den molekularen «Auslöser» der Schwerkraftwahrnehmung in der Zelle zu finden.

Jenseits der Erde überleben

«Menschliche Zellen können gut mit grossen Beschleunigungskräften umgehen. Der Wegfall der Schwerkraft stresst sie hingegen enorm», erklärt Ullrich. Dass ist eigentlich nicht erstaunlich, denn die Schwerkraft war während der Entstehung des Lebens stets präsent. Alle biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse laufen unter Einwirkung der Schwerkraft ab.

Wenn die Forscher und Forscherinnen nun untersuchen, ob menschliche Zellen nur in der Schwerkraft funktionieren können oder allenfalls in der Lage sind, sich an veränderte Schwerkraftbedingungen anzupassen, geht es auch um grundlegende Fragen des Lebens. Mit diesen Erkenntnissen lässt sich erst abschätzen, ob der Mensch überhaupt je in der Lage sein wird, für längere Zeit ausserhalb seines Heimatplaneten zu überleben. «Raumfahrt wird aber immer ein Risiko bleiben und viel Mut erfordern», ist Ullrich überzeugt. Wahrscheinlich macht genau das auch einen Teil der Faszination aus.

Kontakt: Prof. Oliver Ullrich, oliver.ullrich@anatom.uzh.ch

Zusammenarbeit: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Schweizer Luftwaffe; RUAG Aviation; armasuisse; Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, DLR, Köln; Beihang University, Beijing; Tsinghua University, Beijing; EADS Astrium, Friedrichshafen; Institute for Biomedical Problems (IBMP), Russian Academy of Sciences, Moskau; University of California (UCSF), San Francisco; ETH Zürich

Finanzierung: Universität Zürich, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), European Space Agency (ESA), Sino-Swiss Science and Technology Cooperation (SSSTC)