

Notfallmedizin auf dem Mars

Eine simulierte Marsexpedition

Etwa für das Jahr 2030 ist die erste bemannte Raumfahrt zum Mars geplant. Die Crew wird dabei so weit von der Erde entfernt sein, dass eine ständige Kommunikation unmöglich sein kann. Der Flug dürfte etwa 10 Monate dauern. Durch die Schwerelosigkeit werden die Astronauten unter Osteoporose und Muskelschwund leiden. Außerdem werden sie aufgrund einer Vielzahl von unter Zeitdruck auszuführenden Experimenten einer enormen Stressbelastung ausgesetzt sein. Die Folge ist ein erhöhtes Risiko für Unfälle und Verletzungen. Die Astronauten müssen darauf trainiert werden, diese während ihrer Reise selbst zu behandeln.

AustroMars – eine simulierte Marsexpedition

AustroMars ist ein Forschungsprojekt des Österreichischen Weltraum Forums (ÖWF), bei dem im April 2006 in der Wüste von Utah an der „Mars Desert Research Station“ (Habitat) eine bemannte Marslandung simuliert wurde. Dabei hat eine 6-köpfige österreichische Crew, die in einem monatelangen Verfahren aus etwa 200 Freiwilligen ausgewählt wurde, in Kooperation mit der US-amerikanischen „Mars Society“ in einer Mars-ähnlichen Umgebung in völliger Isolation von der Außenwelt 2 Wochen lang Experimente durchgeführt, wie sie auch bei einer re-

alen Marsexpedition in der Zukunft zu erwarten sind. Dazu gehörten geophysikalische Versuche, mikrobiologische Untersuchungen sowie medizinische und psychologische Experimente (▣ Abb. 1, 2).

Das „Mission Control Center“ (MCC) für diese Simulation war in Salzburg stationiert. Über Internet wurde rund um die Uhr Verbindung zur „Mars Desert Research Station“ gehalten und die Crew und die Durchführung der Experimente überwacht. Dabei wurde in der Kommunikation auch eine zeitliche Verzögerung von 10 min eingehalten, um möglichst realistische Bedingungen zu schaffen. Im MCC wurden sämtliche Abläufe der Mission koordiniert, der „flightplan“ (der minutiös geplante Tagesablauf für jeden einzelnen Analogastronauten) erstellt und alle Ergebnisse der Experimente gesammelt.

Ziel der Mars-Analog-Forschung ist es, die technologischen, wissenschaftlichen und logistischen Anforderungen für einen zukünftigen bemannten Marsflug zu definieren und zu optimieren. Es geht dabei um:

- Die Auswahl, Koordination und Durchführbarkeit von Experimenten,
- Maßnahmen zur Vermeidung von Kontamination,
- die effizientesten Methoden der Probenengewinnung,
- die ideale Gestaltung des Tagesablaufs für die Mannschaft,
- die Zusammenstellung einer optimalen Ernährung,

- die ideale Konstruktion von Raumstation und Ausrüstung u.v.m.

Bei AustroMars wurden erstmals im Rahmen einer solchen Simulation Unfälle und Verletzungen als Anomalien eingespielt, deren Behandlung die Analogastronauten in der Vorbereitungsphase trainiert hatten. Zweck dieser Experimente war:

- Prozeduren für die Bergung eines verunglückten Astronauten und die medizinische Versorgung diverser Verletzungen zu entwickeln,
- festzustellen, inwieweit die Analogastronauten vorher trainierte medizinische Fähigkeiten im „Ernstfall“ unter Mars-ähnlichen Bedingungen umsetzen können,
- Probleme und Grenzen in der notfallmedizinischen und traumatologischen Versorgung aufzudecken und darauf aufbauend Lösungsansätze zu entwickeln.

Die Folgen der Schwerelosigkeit

Der Weltraum bietet für den Menschen eine Vielzahl von Herausforderungen: ständige Strahlenbelastung, extreme Druck- und Temperaturschwankungen, unterschiedliche Gravitationskräfte und ein neues physikalisches und chemisches Umfeld.

Vor allem die verminderte Gravitation bis hin zur Schwerelosigkeit führt bei einem längeren Aufenthalt im Weltraum

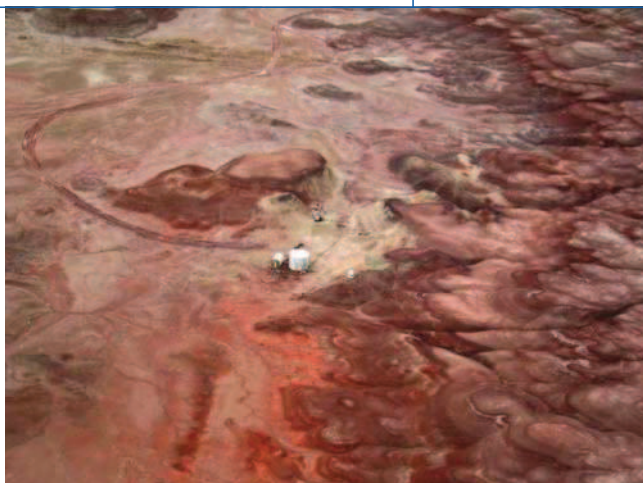


Abb. 1 ◀ Die Mars Desert Research Station der US Mars Society in der Wüste von Utah (Alle Bildrechte: Österreichisches Weltraumforum; Fotos: A. Köhler)



Abb. 2 ◀ Die AstroMars-Crew vor der Mars Desert Research Station (Habitat)

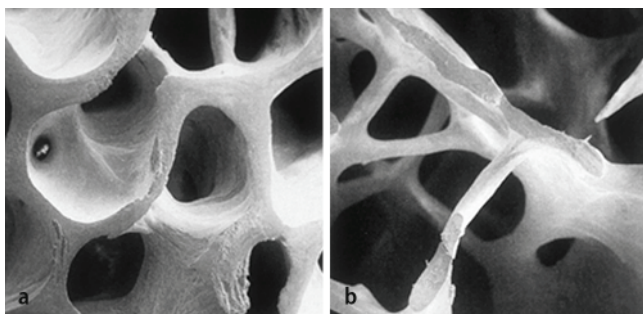


Abb. 3 ◀ Normaler Knochen (a), verminderte Knochendichte (b) bei Osteoporose (elektronenmikroskopische Aufnahme)

zu schwerwiegenden Folgen. Es kommt dabei zu einem kontinuierlichen Verlust an Knochen- und Muskelmasse, der während des Raumaufenthalts unvermindert andauert.

Daten aus der Raumstation MIR zeigen, dass nach einem 6-monatigen Raumaufenthalt die Knochendichte im Kalkaneus eines Astronauten um 13,2% abgenommen hat [3]. In der Wirbelsäule, im Becken und im proximalen Femur verringert sich die Knochendichte während eines Raumflugs trotz ständigen Trainings monatlich um 1–2% [7]. Damit verlieren Astronauten in den gewichtstragenden Abschnitten des Skeletts in einem Mo-

nat gleich viel Knochenmasse wie Frauen in der Postmenopause in einem Jahr! (▣ **Abb. 3**). Außerdem gehen aufgrund der Inaktivität des lokomotorischen Systems bis zu 25% Muskelmasse und bis zu 30% Muskelkraft der unteren Extremitäten verloren [4, 5].

Unfälle auf dem Mars?

Der Rote Planet hat seinen Namen aufgrund seiner Färbung durch Eisenoxid erhalten. Er ist etwa halb so groß wie die Erde und etwa 230 Mio. km von der Sonne entfernt. Seine Atmosphäre besteht zu 95% aus CO₂ und hat nur etwa 1% des irdischen

Luftdrucks. An der Marsoberfläche herrschen Temperaturen von –100 bis 0°C, und die Gravitation beträgt nur etwa ein Drittel der Erde [2, 11]. Ein Überleben ohne Hilfsmittel ist damit für den Menschen nicht möglich.

Ein bemannter Raumflug zum Mars ist etwa für das Jahr 2030 geplant und dürfte ungefähr 10 Monate dauern. Für die Dauer des Aufenthalts auf der Oberfläche des Roten Planeten werden derzeit von der NASA („National Aeronautics and Space Administration“) 2 Szenarien entwickelt:

- eine „short stay mission“ von etwa 30 Tagen und
- eine „long stay mission“ von etwa 300 Tagen.

Für beide Varianten hat die NASA die größten Risiken einer bemannten Mars-Expedition definiert [1]. Diese gilt es im Vorfeld zu erkennen und zu minimieren, wobei die Erkenntnisse aus der unbemannten Raumfahrt helfen, die uns z. B. die Marsroboter „Spirit“ und „Opportunity“ liefern.

Auch die ersten Exkursionen auf der Marsoberfläche werden aus Sicherheitsgründen wahrscheinlich von Robotern durchgeführt werden. Über kurz oder lang jedoch werden auch Astronauten in schwer zugängliche Regionen vorstoßen, die von automatisierten Robotern nicht oder nur unzureichend exploriert werden können.

Nach dem langen Hinflug werden die Astronauten bei ihrer Ankunft auf dem Roten Planeten, wie bereits ausgeführt, eine verminderte Knochendichte und damit ein erhöhtes Risiko für Frakturen vor allem der unteren Extremität haben.

— Speziell die Gefahr von Knöchelfrakturen durch Verstauchungstraumen wird nach einer Marslandung erhöht sein.

Die Astronauten müssen mit ihrer reduzierten Muskelmasse und -kraft einen Raumanzug von – auch bei Marsgravitation – mindestens 20 kg Gewicht tragen, und sie haben zusätzlich durch ihr Lebenserhaltungssystem am Rücken (LSBP, „life support backpack“) auch einen höheren Schwerpunkt des Körpers.

Zusammenfassung · Abstract

Eine weitere Gefahrenquelle für Unfälle und Verletzungen sind Exkursionen auf der Marsoberfläche (EVAs, „extra-vehicular-activities“), sei es durch das unbekannte Terrain mit ungewisser Bodenbeschaffenheit, wodurch es zum Absturz eines Astronauten kommen kann, oder durch einen Unfall mit einem „all-terrain-vehicle“ (ATV). Weitere Risiken bergen Tätigkeiten außerhalb der Raumstation wie z. B. das Errichten eines Strahlenschutzes oder der Aufbau eines Teleskops.

Aber auch in der Raumstation selbst können sich Astronauten verletzen, z. B. im Laborbereich beim Hantieren mit Reagenzien und Werkzeug (Verbrennungen, Verätzungen, Riss-Quetsch-Wunden, Mikrotraumen mit nachfolgender Infektgefahr).

Simulierte Unfälle unter Mars-ähnlichen Bedingungen

Vorbereitungsphase

Ausgehend von oben genannten Überlegungen wurden folgende Experimente bzw. Verletzungen definiert:

1. Bergung und Transport eines abgestürzten Astronauten,
2. Sprunggelenkverletzung bei einer EVA,
3. Verbrennung/Verätzung bei einem Unfall im Laborbereich,
4. Riss-Quetsch-Wunde an Kopf und Unterarm bei einem Sturz im Habitat.

Das Abseilen und die Bergung eines Verletzten aus der Tiefe mit Hilfe eines „Zweibeins“ konnte die Crew unter Anleitung und Aufsicht der Tiroler Bergrettung auf 2400 m Höhe in Kühtai trainieren.

Die Grundlagen der Gipsbehandlung und operativen Wundversorgung erlernen die Teilnehmer im Rahmen eines Seminars an der Universitätsklinik für Unfallchirurgie Graz. Zusätzlich wurde die Crew von Rettungssanitätern in Erster Hilfe unterwiesen.

Simulation

Während der 2-wöchigen AustroMars-Simulation wurden diese Verletzungen von der „Mission Control“ als Anomalien in den „flightplan“ eingespielt:

Notfall Rettungsmed 2006 · 9:653–660 DOI 10.1007/s10049-006-0875-2
© Springer Medizin Verlag 2006

R. Mausitz · R. Oberhammer · G. Nordmeyer · K. Tanzer · R. Gumpert · G. Grömer
Notfallmedizin auf dem Mars. Eine simulierte Marsexpedition

Zusammenfassung

Wann immer der erste bemannte Raumflug zum Roten Planeten stattfinden wird, die Astronauten werden nach der langen Zeit in der Schwerelosigkeit an Osteoporose und Muskelschwund leiden. Zusätzlich wird die Crew aufgrund einer Vielzahl von Experimenten einer enormen Stressbelastung ausgesetzt sein. Beides führt zu einer erhöhten Verletzungsgefahr. Die Planung einer Marsexpedition muss also auch die Entwicklung von Prozeduren für die Versorgung verletzter Astronauten einschließen.

In einem Habitat der „Mars Society“ in der Wüste von Utah werden simulierte Marslan-

dungen durchgeführt. Während „AustroMars“ im April 2006 wurden dabei erstmals neben einer Vielzahl von interdisziplinären Experimenten auch verschiedene Unfälle als Anomalien eingespielt. Diese Arbeit liefert einen Überblick darüber, mit welchen Verletzungen zukünftige Astronauten rechnen müssen, und wie deren medizinische Versorgung aussehen könnte, aber auch welche Probleme dabei noch zu lösen sind.

Schlüsselwörter

Raumfahrtmedizin · Notfallmedizin · AustroMars · Bergungstechniken

Emergency medicine on Mars. A simulated expedition to the red planet

Abstract

We do not know when the first space flight to the red planet will take place. We do know, however, that after a long period in zero gravity the astronauts will suffer from osteoporosis and amyotrophy. In addition, the crew will stand under substantial stress due to the large number of experiments to be done under time pressure. Therefore, we must assume an increased danger of accidents and injuries. The planning of an expedition on Mars must include the development of procedures for the treatment of injured astronauts.

In the Mars Desert Research Station in the desert of Utah, simulations of the first hu-

man expedition to Mars are being performed. For the first time, additionally to geophysical, micro-biological and psychological experiments, different accidents and injuries were brought in as anomalies during „AustroMars“ in April 2006. This work shows which injuries future astronauts have to expect and how they might be treated, in addition to which problems must be solved in the future.

Keywords

Space medicine · Emergency medicine · AustroMars · Rescue techniques



Abb. 4 ▲ Abseilen des Helfers mit dem Zweibein der Tiroler Bergrettung



Abb. 6 ▲ Transport des VA in Bauchlage auf einer Leiter



Abb. 5 ▲ Bergung des VA

Ein Analogastronaut wurde von der „Mission Control“ als „Verletzungsoffer“ bestimmt und über Mail verständigt, welchen Unfall er wann simulieren sollte. Die einzelnen Teilnehmer bewiesen dabei durchaus schauspielerische Fähigkeiten und erreichten z. B. durch die Verwendung von Kunstblut sehr realistisch aussehende Verletzungen. Die folgende Versorgung des „Patienten“ wurde jeweils von einem anderen Crew-Mitglied gefilmt oder fotografiert, um später für eine detaillierte Auswertung zur Verfügung zu stehen. Zusätzlich konnte der Behandlungsablauf über Webcams im Habitat auch „live“ beobachtet werden.

Nach Ende der Simulation wurde mit jedem Crew-Mitglied ein Interview geführt, wobei anhand eines Fragebogens die Probleme im Ablauf der einzelnen Versuche herausgefiltert sowie Verbesserungen und Lösungsansätze entwickelt wurden.

Bergung und Transport eines abgestürzten Astronauten

Annahme. Während einer EVA zur Gewinnung geologischer Proben rutscht ein Astronaut aus und stürzt etwa 12 m über eine Felswand in die Tiefe.

Ablauf. Vier Astronauten bauen das Zweibein der Tiroler Bergrettung auf. Ein Helfer wird zum „verletzten Astronauten“ (VA) abgeseilt und hängt ihn mittels Klettergeschirr ans Seil. Daraufhin wird zuerst der VA und danach der Helfer hochgezogen (■ Abb. 4, 5).

Anschließend werden 2 Varianten für den Transport des VA getestet:

- Aus 100 m Seil wird ein Tragnetz geknüpft, an dem Karabiner als Haltegriffe eingehängt werden. Der VA wird damit in Bauchlage von 4 Astronauten getragen.
- Eine 5-Stufen-Leiter wird mit einer isolierenden Matte gepolstert, und der VA wird in Bauchlage mit Expandern auf der Leiter fixiert. Diese wird anschließend auf ein ATV geschnallt, und im Schrittempo wird der VA ins Habitat zurücktransportiert (■ Abb. 6).

Ergebnisse/Erkenntnisse. In dieser Versuchsanordnung hatte die Crew die Rettungsausrüstung bereits vor Ort dabei. Bei einer realen Expedition auf der Marsoberfläche werden die Astronauten wahrscheinlich nicht die gesamte Rettungsausrüstung mit sich führen, sodass diese im Unglücksfall erst aus der Raumstation geholt bzw. nachgebracht werden muss. Daraus könnten sich mitunter stundenlange Rettungszeiten ergeben, die für den verunglückten Astronauten tödlich sein könnten.

Der zweite Zeitfaktor liegt im Aufbau des Zweibeins. Durch die eingeschränkte Beweglichkeit im Raumanzug und das fehlende Feingefühl in den Handschuhen (Knotentechnik!) dauerte der Aufbau in unserem Versuch etwa eine Stunde (zum Vergleich: ein gut geschultes Team der Tiroler Bergrettung braucht – ohne Handschuhe – etwa 10 min). Durch ungünstige geologische Gegebenheiten und eine ungenügende Crew kann sich diese Zeit zusätzlich verlängern.

Die Erstuntersuchung eines verletzten Astronauten im Raumanzug ist auf sehr wenige Maßnahmen beschränkt. Durch den Anzug und die Handschuhe lassen sich nur grob Mobilität und Sensibilität prüfen [6]. In der Beurteilung von Atmung und Kreislauf ist der Helfer völlig auf die Daten aus dem Standard-Monitoring des Astronauten angewiesen (Puls, Blutdruck, Temperatur, evtl. O₂ und CO₂ in der Atemluft).

Die Bergung des VA konnte mit dem Zweibein in etwa 15 min bewältigt werden. Im Versuch hatten die Astronauten bereits vorher das Klettergeschirr angelegt, da dies mit den Handschuhen nicht möglich gewesen wäre. Ein Raumanzug müsste dementsprechende Vorrichtungen bereits eingebaut haben (z. B. Ösen, an denen man Seile oder Karabiner befestigen kann).

Beim Hochziehen muss der verletzte Astronaut bei Bewusstsein sein und sich mit den Beinen an der Felswand abstützen können. Ein bewusstloser oder benommener Astronaut würde ständig gegen die Wand stoßen und Gefahr laufen, sich dabei den Helm zu beschädigen oder Schläuche des LSBP zu lösen. Bei der Bergung eines bewusstlosen Astronauten müsste der Helfer mit hinaufgezogen wer-

den, was durch das Gewicht der Ausrüstung sehr anstrengend ist. Es ist zu überlegen, inwieweit man dafür z. B. ein ATV unterstützend einsetzen kann.

Ein unvorhergesehenes Problem betraf die technische Ausrüstung: Durch den Wüstensand wurden die Seile steif und die Umlenkrollen des Zweibeins schwergängig. Dadurch war das Hochziehen des VA sehr kraftaufwändig. Der Sand auf dem Mars ist noch feinkörniger als auf der Erde und würde die Seile noch mehr angreifen. Es müssen daher andere Materialien gefunden werden.

Beim Transport eines verletzten Astronauten stellt seine Lagerung das größte Problem dar:

1. Die Rückenlage ist wegen des LSBP (Lebenserhaltungssystem) kaum möglich. Dieses reicht bis zur mittleren Lendenwirbelsäule, wodurch das Becken und die Beine in Rückenlage im Hohlkreuz überhängen, was als sehr unangenehm empfunden wird. Bei einem bewusstlosen Astronauten wäre außerdem in dieser Position die Aspirationsgefahr hoch.
2. Die Bauchlage hat den Nachteil, dass der Astronaut ständig aktiv den Kopf in die Höhe halten muss, weil dieser frei im Helm hängt und der Astronaut sonst ständig mit dem Kinn oder sogar dem Hals gegen die Metallkrawse des Helmes schlägt (Abb. 7). Es ist zu prüfen, inwieweit sich das durch Polsterungen des Helms oder spezielle „Airbag-Systeme“ vermeiden lässt. Ein weiterer Nachteil der Bauchlage ist, dass in dieser Position die Atmung durch das Gewicht des LSBP auf dem Rücken erschwert ist.
3. In unserem Versuch wurde vom VA die Seitenlage als angenehmste Position beschrieben. Diese hat den Vorteil, dass sie beim bewusstlosen Astronauten am ehesten einer stabilen Seitenlagerung entspricht. Der Transport im Sitzen bzw. mit erhöhtem Oberkörper wäre für den Astronauten ebenfalls bequem, weil in dieser Stellung Raumanzug und Helm nicht am Körper hoch rutschen können und der Astronaut folglich nicht „im Anzug hängt“. Es bleibt zu prüfen, inwieweit der Transport in diesen Positionen praktikabel ist.

Das Tragen des VA mit dem Netz hat in unserem Versuch gut funktioniert und eignet sich für kurze Distanzen (100–200 m). Für weitere Entfernungen ist der Kraftaufwand (und damit der Sauerstoffbedarf) für die Astronauten zu hoch.

Der Transport auf einer umfunktionierten Leiter hat sich sowohl für den VA (den die fixierenden Expander eingeschnitten haben) als auch für die Helfer (welche die Leiter wegen der scharfen Kanten schwer halten konnten) als unbequem und schwierig erwiesen. Besser geeignet wäre ein „spineboard“ oder eine modifizierte Bergewanne der Feuerwehr (z. B. mit Karabinern zum Befestigen der Wanne auf dem ATV) oder einfach eine „Multifunktionsleiter“ mit Griffen und Ösen, die sich zu einer Trage umfunktioniert lässt. Durch die Befestigung der Trage auf dem ATV ist auch ein Transport des Astronauten auf weiten Strecken möglich.



Abb. 7 ▲ Der Raumanzug der US Mars Society mit dem Lebenserhaltungssystem (LSBP)

— Als Hauptproblem in diesem Versuchsszenario hat sich die lange Rettungszeit erwiesen.

Vom Absturz des Astronauten bis zu seiner Befestigung auf dem ATV sind insgesamt etwa 2 Stunden vergangen (Auf-

Hier steht eine Anzeige.

 Springer



Abb. 8 ◀ Sprunggelenkverletzung bei EVA



Abb. 9 ◀ Versorgung der Brandwunde (Webcam-Bild aus dem Habitat)

bau des Zweibeins etwa eine Stunde, Bergung etwa 15 min, Transport zum und Fixierung am ATV etwa 45 min). Darin sind die Zeiten zum Holen der Rettungsausrüstung aus dem Habitat und der Transport mit dem ATV zum Habitat noch nicht enthalten.

Wenn man davon ausgeht, dass ein verletzter Astronaut auf dem Mars auf einem Untergrund von etwa -80°C liegt, kann man sich leicht vorstellen, dass mit der Rettungszeit auch die Gefahr einer Hypothermie steigt. Ein Beheizen des Anzugs ist aufgrund des daraus resultierenden Strombedarfs nicht möglich. Die Entwicklung von speziellen Isolationsmaterialien, evtl. integriert im Raumanzug, ist gefordert.

Ein weiteres Problem der langen Rettungszeit ist der limitierte Sauerstoffvorrat. Um die Reichweite zu erhöhen, wäre das Anlegen von Sauerstoffdepots – wie z. B. im Tauchsport üblich – eine Möglichkeit. Die NASA entwickelt derzeit teil-

regulative Luftzufuhrsysteme mit Rückatmung (experimentell reichen derzeit 2–3 l „Luft“ für 60 Stunden).

Sprunggelenkverletzung bei einer EVA

Annahme. Während einer EVA stolpert ein Astronaut etwa 500 m vom Habitat entfernt über einen Stein, wobei er sich den rechten Knöchel verletzt (▣ Abb. 8).

Ablauf. Der zweite Astronaut sendet einen Hilferuf ans Habitat. Anschließend untersucht er den VA und verabreicht ihm über das Schlauchsystem des Helms ein „Schmerzmittel“ (Epruvette mit 2 ml Zitronensaft). Nachdem 2 weitere Astronauten als Rettungsmannschaft eingetroffen sind, wird der VA mit Hilfe von Bandschleifen der Bergrettung, die sich 2 Helfer um die Schulter schlingen und in deren Mitte der „Patient“ sitzt, zurück zum Habitat gebracht. Dort wird der Rauman-



Abb. 10 ▲ Hautnaht der „Wunde“ (Kunsthaut)

zug ausgezogen und dem VA ein Unterschenkel-Spaltgips angelegt.

Ergebnisse/Erkenntnisse. Auf die Schwierigkeiten der Untersuchung eines verletzten Astronauten im Raumanzug wurde bereits eingegangen.

Bis die Rettungsmannschaft eintrifft, vergeht viel Zeit. Das Anziehen des Raumanzugs dauert unter normalen Bedingungen etwa 45 min, im Notfall schafft es eine Mannschaft in 30 min. Dazu kommen 10 min in der Luftschleuse und die Anmarschzeit zum Unfallort (Gehzeit für 500 m etwa 15 min). Die Probleme die sich aus der langen Rettungszeit ergeben (Hypothermie, Sauerstoffvorrat), wurden schon erwähnt.

In unserem Versuch wurde dem VA für den Transport ein Schmerzmittel verabreicht, indem eine Flüssigkeit über die Wasserzufuhr eingebracht wurde. Auf dem Mars ist dieses Vorgehen nicht möglich, weil bei einem Druck von 1 mbar jede Flüssigkeit sofort verdampfen würde. Ein Lösungsansatz wäre der Einbau einer Art „Notfallkapsel“ in den Raumanzug, welche im Bedarfsfall aktiviert werden kann.

Zur Schienung einer verletzten Extremität ist die Entwicklung eines Raumanzuges denkbar, bei dem sich getrennte Abschnitte im Bedarfsfall ähnlich einer pneumatischen Schiene aufblasen lassen. Eine Unterteilung des Anzugs wäre auch in Anbetracht einer Beschädigung des Stoffs von Vorteil, weil dadurch ein Druckver-

lust nicht gleich den gesamten Anzug betreffen würde.

Der Transport des VA mit den Band-schleifen war schwierig. Zum einen waren die Schleifen fast zu kurz, um sie sich über dem Raumanzug um die Schultern zu schlingen. Zum anderen sind sie nur 2–3 cm breit und haben daher stark eingeschnitten. Ohne Mithilfe des VA wäre diese Transporttechnik nicht möglich gewesen, der „Patient“ muss sich aktiv an seinen Helfern festhalten können. Aufgrund des hohen Kraftaufwands für alle Beteiligten eignet sich diese Technik nur für sehr kurze Strecken (etwa 30 m).

► In der Raumstation sollte die Möglichkeit zu einer Röntgenuntersuchung bestehen

Beim Anlegen des Gipses hielten die Helfer zwar alle Arbeitsschritte wie im Training geübt ein, jedoch war das Ergebnis unzureichend. Der fertige Gips zeigte eine Spitzfußstellung und war insgesamt zu dünn und zu wenig stabil. Der VA äußerte außerdem Druckstellen im Gips. Ohne ausreichende Erfahrung und regelmäßiges Training ist eine Gipsbehandlung schwierig. Vorgefertigte Schienen wären einfacher anzuwenden, weisen allerdings bei Schwellungen eine schlechte Passform und bei Frakturen eine zu geringe Stabilität auf. Zur adäquaten Diagnose und Therapie von Verletzungen des Bewegungsapparates wäre außerdem eine Röntgenuntersuchung unabdingbar. Für eine Raumstation der Zukunft ist eine solche Einrichtung zu fordern.

Die Mobilität des VA im Habitat war mit dem Gipsfuß deutlich erschwert. Allein die Leiter zwischen Erdgeschoß und Oberdeck war damit kaum zu bewältigen. Die Konstruktion einer zukünftigen Raumstation muss auch solchen Überlegungen Rechnung tragen.

Verbrennung/Verätzung bei einem Unfall im Laborbereich

Annahme. Beim Arbeiten mit dem Bunsenbrenner entflammt ein in der Nähe stehendes Desinfektionsmittel, und ein Astronaut zieht sich eine zweitgradige

Verbrennung der linken oberen Extremität zu.

Ablauf. Ein zweiter Astronaut leistet Erste Hilfe (kaltes Wasser). Ein weiterer Astronaut löscht das Feuer und schaltet den Feueralarm aus. Anschließend legt der Helfer dem VA eine Sauerstoffmaske an und versorgt die Wunden mit einem Aluverband, kontrolliert den Blutdruck und verabreicht eine Infusion (■ Abb. 9).

Ergebnisse/Erkenntnisse. Die Versorgung des VA erfolgte in diesem Versuch nach den Richtlinien der Ersten Hilfe. Diese Behandlung mag für kleinere Wunden ausreichend sein. Bei großflächigen Verbrennungen bzw. Verätzungen ist jedoch ein umfassendes Wundmanagement mit regelmäßigen Verbandswechseln notwendig, um eine möglichst komplikationslose Wundheilung zu erreichen. Auch ist in diesem Fall mit hohem Flüssigkeitsverlust und einem begleitenden Schockzustand zu rechnen, was aufgrund der begrenzten Ressourcen (z. B. Infusionen) zu großen Problemen führen kann. Ein weiteres Problem stellt die Infektgefahr dar. Eine etwaige CO-Vergiftung der Astronauten in der Abgeschlossenheit der Raumstation könnte mit einer hyperbaren Sauerstofftherapie in der Luftschleuse verhältnismäßig einfach behandelt werden.

Riss-Quetsch-Wunde an Kopf und Unterarm bei einem Sturz im Habitat

Annahme I. Ein Astronaut stößt sich den Kopf an der Leiter zum Oberdeck des Habitats und zieht sich dabei eine Riss-Quetsch-Wunde am Hinterkopf zu.

Ablauf. Ein zweiter Astronaut befestigt die steril verpackte Kunsthaut mit Tape auf dem Kopf des VA, deckt die „Wunde“ steril ab, desinfiziert sie und verschließt sie mit einer Klammernaht (Stapler). Dann nimmt er ein Abklatschpräparat von der „Wunde“ und legt einen sterilen Verband an.

Annahme II. Ein Astronaut stolpert im Werkstättenbereich und zieht sich beim Sturz an einer offen stehenden Metall-schublade eine Risswunde am Unterarm zu.

Infobox 1 „Außerirdische“ Probleme in der Notfallmedizin

- Begrenzte Ressourcen (Sauerstoff, Medikamente, ...)
- Technische Ausrüstung durch Sand/Staub beeinträchtigt
- Eingeschränkte Beweglichkeit im Raumanzug
- Gefahr der Unterkühlung
- Lange Rettungszeiten bei Expeditionen an der Oberfläche
- Schwieriger Transport eines verletzten Astronauten
- Mangelnde Hygiene
- Medizinischer Abfall
- Regelmäßiges Training notwendig

Ablauf. Ein Astronaut leistet Erste Hilfe und legt einen Druckverband an. Anschließend wird die steril verpackte Kunsthaut mit Tape auf dem Unterarm befestigt und die „Wunde“ steril abgedeckt. Dann zieht sich der Helfer steril an und versorgt die „Wunde“ mittels Hautnaht. Am Schluss nimmt er ein Abklatschpräparat und legt einen sterilen Verband an (■ Abb. 10).

Ergebnisse/Erkenntnisse. Die Wundversorgung mit Klammernaht ist einfacher als die Hautnaht. Sie ist allerdings nur für oberflächliche Wunden und nicht für jede Lokalisation geeignet.

Im Habitat gibt es keinen sterilen Bereich, und es ist insgesamt wenig Platz, wodurch steriles Arbeiten noch zusätzlich erschwert wird. Trotzdem fand sich auf den Abklatschpräparaten der „Wunden“ nach 48 Stunden Inkubation bei 37°C kein Keimwachstum. Es ist also auch unter den beengten und isolierten Bedingungen des Habitats/einer Raumstation möglich, eine Wunde steril zu versorgen.

In unserem Versuch bereitete den Teilnehmern vor allem das Zusammensuchen aller benötigten Utensilien für die Wundversorgung (Abdecktücher, steriler Mantel, Handschuhe, Maske, Instrumente, Nahtmaterial, Verbandsmaterial u. a.) Schwierigkeiten. In der sterilen Verpackung sieht für den medizinischen Laien alles gleich aus. Eine Erleichterung wären z. B. nummern- oder farbcodierte Verpackungen und große Beschriftungen möglichst ohne Fachausdrücke.

Weiterführende Links

- <http://www.austromars.at>
Homepage des Projektes AustroMars
- <http://www.oewf.org>
Homepage des Österreichischen Welt-
raum Forums (ÖWF)
- <http://www.nasa.gov/home/index.html>
Homepage der NASA
- <http://www.marssociety.org/mdrs/>
Homepage der US Mars Society, Mars
Desert Research Station

Nachdem das Training dafür schon längere Zeit zurück lag, hatte der ausführende „Astronaut“ bei der Hautnaht – vor allem bei der Knotentechnik – anfangs Schwierigkeiten und war auf Hilfe angewiesen. Regelmäßige „Refresher-Kurse“ in den medizinischen Fertigkeiten sind notwendig, weil sonst erlernte Fähigkeiten schnell wieder vergessen werden.

- **Jedes Mitglied der Crew sollte in der Lage sein, eine Wundversorgung durchzuführen.**

Ein großes Problem stellt der medizinische Abfall dar. Zum einen fallen davon große Mengen an, zum anderen kann man ihn weder verbrennen (zu wenig Sauerstoff) noch auf dem Mars zurücklassen (Kontamination). Wieder verwendbare Materialien sind damit – auch wegen der begrenzten Ressourcen – soweit wie möglich den derzeit verwendeten Einmaltartikeln vorzuziehen. Das erfordert jedoch die Möglichkeit der Reinigung und Sterilisation. Für Materialien, die nicht im Autoklaven sterilisiert werden können, wäre evtl. die Plasmasterilisation eine Alternative [8, 10].

Die „außerirdischen“ Probleme in der Notfallmedizin sind in **Infobox 1** zusammengefasst.

Fazit

Die Aufgabe der Medizin in der Raumfahrt ist die Aufrechterhaltung und Unterstützung der Gesundheit, des Wohlbefindens und der Einsatzfähigkeit der Astronauten während ihres Raumaufenthalts und bei ihrer Rückkehr zur Erde [9]. Bei der Planung einer bemannten Marsmission muss von medizinischer Seite die Prävention im Vordergrund stehen. Das

beginnt bei der Konstruktion der Raumstation und reicht über das Design der Ausrüstung und Methoden zur Gesunderhaltung der Astronauten bis hin zu sicheren Arbeitsabläufen. Für den Fall von Verletzungen müssen leicht nachvollziehbare Prozeduren für deren Versorgung entwickelt werden.

Kleinere Verletzungen können von Laien mit entsprechendem Training sicher bewältigt werden. Im Fall von ernsten medizinischen Problemen sind jedoch umfassende Kenntnisse notwendig. Da die Kommunikation mit einem erfahrenen Arzt auf der Erde aufgrund der großen Distanzen nur mit deutlicher Zeitverzögerung möglich ist, wird im Ernstfall jede Hilfestellung zu spät kommen. Es ist daher zu fordern, dass bei länger dauernden Expeditionen ein erfahrener Arzt Mitglied der Crew ist.

Die Raumfahrtmedizin ist eine herausfordernde Disziplin und steht erst ganz am Anfang ihrer Entwicklung. Die Erfahrungen und Technologien daraus können aber auch einen Benefit für medizinische Entwicklungen auf der Erde bringen.

Korrespondierender Autor

R. Mauschitz



Universitätsklinik für
Unfallchirurgie, Medizinische
Universität Graz
Auenbruggerplatz 7a,
8036 Graz
renate.mauschitz@meduni-
graz.at

Interessenkonflikt. Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

Literatur

1. Beaty DW, Snook K, Allen CC et al. (2005) An analysis of the precursor measurements of Mars needed to reduce the risk of the first human mission to Mars. Unpublished white paper, 77p, posted June, 2005 by the Mars Exploration Programme Analysis Group (MEPAG) at <http://www.mepag.jpl.nasa.gov/reports/index.html>
2. Carr M (1981) The surface of Mars. Yale University Press, New Haven
3. Collet P, Uebelhart D, Vico L et al. (1997) Effects of 1- and 6-month spaceflight on bone mass and biochemistry in two humans. *Bone* 20: 547–551
4. Fitts RH, Riley DR, Widrick JJ (2000) Microgravity and skeletal muscle. *J Appl Physiol* 89: 823–839
5. Greenleaf JE, Bulbulian R, Bernauer EM et al. (1989) Exercise-training protocols for astronauts in microgravity. *J Appl Physiol* 67: 2191–2204
6. Groemer GE, Vora T, Czarnik T (2003) Trauma management issues during a surface expedition on Mars. Proceedings of the European Mars Conference, Bremen
7. LeBlanc A (1998) Summary of research issues in human studies. *Bone* 22: 117–118
8. Mogul R, Bolshakov AA, Chan SL et al. (2003) Impact of low-temperature plasma on deinococcus radiodurans and biomolecules. *Biotechnol Prog* 19: 776–783
9. Nicogossian A (2003) Medicine and space exploration. *Lancet* 362 [Suppl 1]: 8–9
10. Xu L, Zhang R, Liu P et al. (2004) Sterilization of *E. coli* bacterium with an atmospheric pressure surface barrier discharge. *Chin Phys Soc* 13: 913–917
11. Zubrin R (1996) The case for Mars. Touchstone, New York