

ITALIAN JOURNAL OF AEROSPACE MEDICINE



N. 45 - JULY 2013



AIMAS - ASSOCIAZIONE ITALIANA DI MEDICINA AERONAUTICA E SPAZIALE



ANALYSIS OF TRADITIONAL APPROACHES FOR ASTRONAUTS' PERSONAL HYGIENE IN OUTER SPACE

ANALISI DEGLI APPROCCI TRADIZIONALI PER L'IGIENE PERSONALE DEGLI ASTRONAUTI NELLO SPAZIO

- FLORIANA CRAPANZANO MSc ⁽¹⁾
- SALVATORE CRAPANZANO Eng MSc ⁽²⁾
- GIORGIO GRAZIANO MD ⁽³⁾
- MARIA IUDICELLO Eng PhD ⁽²⁾
- WALTER MAZZUCCO MD PhD ⁽⁴⁾

1 Scuola di Specializzazione in Patologia Clinica, Università degli Studi di Palermo

2 Sezione di Ricerche aerospaziali e soluzioni innovative per l'efficienza energetica, DIPARTIMENTO DI ENERGIE RINNOVABILI, EFFICIENZA DELLE RISORSE E RICERCA AEROSPAZIALE, I.E.M.E.S.T., Palermo

3 Scuola di Specializzazione in Igiene e Medicina Preventiva, Dipartimento di Scienze per la Promozione della Salute e Materno Infantile "G. D'Alessandro", Università degli Studi di Palermo

4 Dipartimento di Scienze per la Promozione della Salute e Materno Infantile "G. D'Alessandro", Università degli Studi di Palermo

CORRESPONDING AUTHOR/CONTATTI

Ing. Maria IUDICELLO

Istituto Euro Mediterraneo di Scienza e
Tecnologia (I.E.M.E.S.T.)

Via M. Miraglia, 20/p. Briuccia - 90139 Palermo

Tel. +39 329 978 2972 - Fax. 091 66 22 514

mariajudicello@iemest.eu

► Short title

Personal hygiene in microgravity

► Keywords

Personal hygiene, microgravity, spaceflight, shower

► OVERVIEW

Various approaches adopted over the years for astronauts' personal hygiene in microgravity conditions are reviewed and analysed in this paper. For each approach, benefits, critical aspects of sanitation and comfort, along with the possibility of recycling the water used, are discussed and evaluated.

► INTRODUCTION

There are several aspects of hygiene that people living comfortably on Earth take for granted, for example washing up or taking a shower, but which represent a great deal, or at least a nuisance, for astronauts experiencing life in the outer space.

► Titolo breve

Igiene personale e microgravità

► Parole chiave

Igiene personale, microgravità, volo spaziale, doccia

► SOMMARIO

In questa review vengono rivisitati ed analizzati alcuni approcci adottati negli anni in ambito di igiene personale degli astronauti in condizioni di microgravità. Per ogni approccio sono discussi e valutati i vantaggi e gli aspetti critici, unitamente alla possibilità di riciclare la quantità di acqua utilizzata.

► INTRODUZIONE

Ci sono alcune cose che le persone che vivono sulla Terra danno per scontate, come, per esempio, lavarsi o farsi la doccia, ma che possono diventare causa di grandi scomodità per gli astronauti che trascorrono parte della loro vita nello spazio.



The physiologic effects of microgravity on human beings, the enhancing growth and virulence of bacteria in this particular environment and the problems of living in confined settings, are all critical points to be solved in order to guarantee healthy indoor living conditions while in space [1,2]. In microgravity, bacteria demonstrate enhanced growth patterns and virulence [3-7], partly due to thickening of the microbial cell wall [8-10] and to an increase in biofilm formation [11]. Furthermore, astronauts suffer from a dysregulation of the immune system, including altered leukocyte, monocyte and granulocyte function and distribution [12-17]. Impaired wound healing has also been documented [18].

Living in the cramped quarters of space capsules or in the International Space Station for days or even months at a time, is a potential risk setting for heavily indoor contamination by microbes like bacteria, fungi, and even protozoa [19,20]. Moreover, aerosols in microgravity enhance the risk of person-to-person transmission of viruses such as influenza [21-23] or bacterial infection such as *Staphylococcus aureus* [24,25].

For all of these reasons, both indoor environment hygiene, in terms of air, water and surfaces microbial contamination reduction, and personal hygiene, particularly hand and toileting [26,27], represent essential practices for preventing infectious diseases in astronauts [1,28,29,31,32].

Therefore, in order to improve astronauts' knowledge and skills on personal hygiene [30], pre-travel hygiene information and education should be provided and specific devices should be developed and implemented [31-32]. In addition, a robust vaccination program, including essential and integrative vaccines, and personal protocols for infectious prevention and control should be provided to reduce transmission risks and to prevent reactivation risks [1,33].

SPACE PIONEERS

Since the start of the space race, astronauts' hygienic conditions emerged as a critical issue for space exploration. Life support systems, including conservation of a stable body temperature, a standard pressure on the body, air, water and food requirements, as well as waste management, have been provided to maintain healthy living conditions in spaceflight missions, avoiding a wide range of diseases that could potentially affect astronauts [34].

The first space pioneers used to wear nappies for their short trips into space [35]. Enemas would also be performed before the lift-off and the astronauts ate special food during the spaceflight. In addition, the time required for pre-flight and post-flight activities, which could last many hours, should also be taken into account. Of course, due to the stress of the whole spaceflight, extreme perspiration had also been considered. Cosmonauts aboard Vostok spacecraft did not have many options [*]. In fact, they could only dry their face with a flannel rag, through the open visor.

Gli effetti fisiologici della microgravità sugli esseri umani, l'aumentata crescita e virulenza dei batteri in questo ambiente particolare ed i problemi derivanti dal vivere in luoghi confinati, rappresentano dei punti critici da risolvere, al fine di garantire condizioni di vita sane nello spazio [1,2]. In condizioni di microgravità i batteri mostrano una cinetica di crescita ed una virulenza aumentate [3-7] a causa dell'ispessimento della parete cellulare [8-10] e dell'aumentata formazione di biofilm [11]. Inoltre, gli astronauti vanno incontro ad una disregolazione del sistema immunitario che porta ad un'alterazione della funzione e della distribuzione di leucociti, monociti e granulociti [12-17]. Oltre a ciò, è stata documentata anche un'alterazione nella guarigione delle ferite [18].

Vivere negli spazi angusti delle navicelle spaziali o nella Stazione Spaziale Internazionale per giorni o addirittura per mesi rappresenta un potenziale fattore di rischio di infezione da parte di microbi come batteri, funghi e protozoi [19,20]. Inoltre, gli aerosol in condizioni di microgravità aumentano il rischio di trasmissione da persona a persona di particolari virus, come quello dell'influenza [21-23], o di batteri, come lo *Staphylococcus aureus* [24,25].

Per tutte queste ragioni, sia l'igiene dell'ambiente interno, in termini di aria, acqua e riduzione di contaminazione microbica delle superfici, sia l'igiene personale, in particolare la pulizia delle mani e del corpo [26,27], rappresentano pratiche essenziali per prevenire le malattie infettive negli astronauti [1,28,29,31,32].

Pertanto, al fine di migliorare le conoscenze e le competenze degli astronauti in ambito di igiene personale [30], vengono fornite agli stessi, prima dell'inizio della missione, alcune informazioni sull'igiene nello spazio. Oltre a ciò, si cerca di sviluppare ed applicare presidi igienici specifici [31-32] e di stabilire un programma completo di vaccinazioni che comprenda vaccini obbligatori e facoltativi, unitamente a protocolli personalizzati per la prevenzione ed il controllo delle infezioni, al fine di ridurre il rischio di trasmissione e prevenire quello di riattivazione.

I PIONIERI DELLO SPAZIO

Sin dall'inizio della corsa allo spazio, le condizioni igieniche degli astronauti si sono rivelate sempre un problema critico per l'esplorazione spaziale.

Sistemi di supporto della vita, tra cui quelli che permettono di conservare una temperatura stabile ed una pressione standard sul corpo, che forniscono l'aria, l'acqua ed il cibo, e che si occupano della gestione rifiuti, sono stati presi in considerazione per mantenere condizioni di vita sane nelle missioni spaziali, evitando l'insorgenza di una vasta gamma di malattie che potrebbero colpire gli astronauti [34].

I primi pionieri utilizzavano dei pannoloni durante i loro brevi viaggi nello spazio [35], venivano anche sottoposti a clisteri prima del decollo e veniva fornito loro del cibo

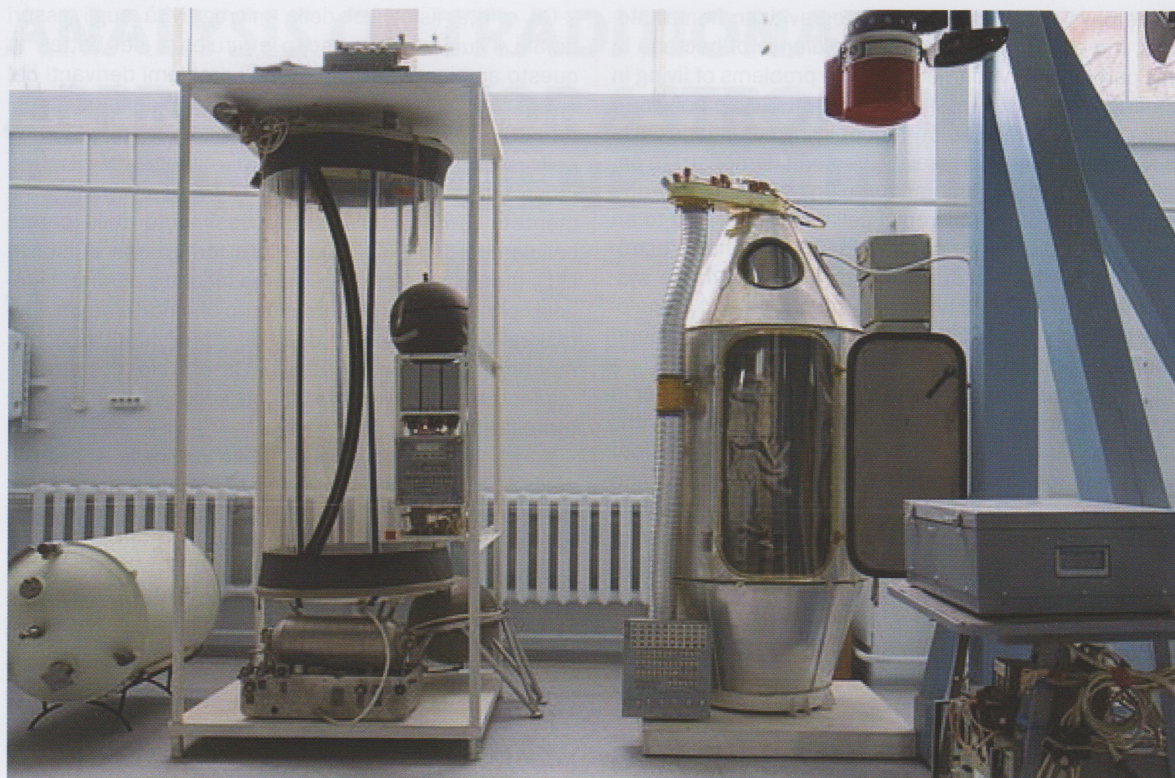


FIG. 1 - Space showers of Soviet orbital stations. / Docce spaziali di stazioni orbitali sovietiche. (Credits: 2007-04 (C) Seiji Yoshimoto - Zvezda Museum).

During his sub-orbital flight, astronaut Alan Shepard, like other United States soldiers, brought a bar of soap with him. Anyway, this would have been useful only after the splashdown of the spacecraft.

During the Mercury-Atlas 9 mission (1963), astronaut Gordon Cooper could make use of a toothbrush [*]. He could not use any toothpaste, but he could use special chewing-gums [*].

Since the new Voskhod spacecraft (1964) could host three cosmonauts at the same time, aerospace engineers started to care more seriously about astronauts' personal hygiene management in space [*].

Starting from the Gemini 7 mission (1965), which lasted 14 days, astronauts were provided with the new spacesuits G5C, which allowed them to undress in space [36]. In the same mission, astronauts could make use of wet towels, toothbrushes and chewing-gums. The situation has not changed until the Soyuz missions.

APOLLO PROGRAM

The Apollo missions (1968-1972) were carried out by bigger capsules, therefore astronauts had more possibility of movement inside the spacecraft, but hygiene conditions remained almost the same as before [*]. In fact, astronauts wore "fecal retention garments" and they could wash themselves only by wet towels and serviettes. Astronauts of the Apollo missions had also the

specifico durante il volo spaziale. Inoltre, doveva anche essere valutato il tempo richiesto per le attività pre-volo e post-volo, che potevano durare anche molte ore. Naturalmente, a causa dello stress, nel corso dell'intero volo spaziale, anche l'eccessiva sudorazione era un importante problema da attenzionare. A tal riguardo, i cosmonauti a bordo del veicolo spaziale Vostok non avevano molte possibilità [*]. Infatti, potevano solo asciugarsi il viso con un panno di flanella attraverso la visiera aperta.

L'astronauta Alan Shepard, come erano soliti fare i soldati statunitensi, durante il suo volo sub-orbitale portò con sé una saponetta, che, comunque, gli si sarebbe potuta tornare utile solo dopo l'ammarraggio della navicella.

Durante la missione Mercury-Atlas 9 (1963), l'astronauta Gordon Cooper poté far uso di uno spazzolino da denti [*]. Egli, tuttavia, non utilizzava un dentifricio, ma particolari gomme da masticare [*].

Da quando fu messo in attività il nuovo veicolo spaziale Voskhod (1964), che poteva ospitare tre cosmonauti contemporaneamente, gli ingegneri aerospaziali iniziarono a preoccuparsi della gestione dell'igiene personale degli astronauti nello spazio con molta più attenzione [*]. A partire dalla missione Gemini 7 (1965), che ha avuto una durata di 14 giorni, sono state fornite agli astronauti le nuove tute spaziali G5C. Ciò ha permesso loro di svestirsi e cambiarsi nello spazio [36]. Nella stessa missione, gli astronauti hanno potuto fare uso di asciu-



possibility to use warm water, dental floss and edible toothpaste. More than that, the Apollo missions' astronauts could shave with a razor and shaving foam not requiring any brush, but they used towel to clean their razor and their faces. It was necessary to use a lot of foam, in order to trap beard hairs so they would not fluctuate all around the spacecraft.

FIRST SPACE STATIONS

After the launch into the orbit of the first Space Stations (1970's) designed for long stay of astronauts in space (Program Salyut and Skylab missions), the first "space showers" began to be produced (Fig. 1). These showers were mainly constituted of a cylindrical casing made of plastic material, in order not to disperse jets and droplets of water into the surrounding environment. One of the characteristics was the presence of a special aspirator for fluids, which guaranteed the astronauts a particular water recirculation [*].

As water recirculation and storage was at the origin of biofilm and of microbes spreading in the water system, water could be a potential vehicle of infectious diseases in a confined habitat like the spacecraft [1].

The first space shower was installed aboard the Skylab (1973) (Fig. 2 - 3) [37]. It consisted in a folding shower and it was placed in the lower deck of the space station. When an astronaut had a shower, the cylindrical-shaped plastic sleeve was pulled up.

The astronaut could spray 3 litres of water from a nozzle to rinse off, and then use a vacuum hose attachment to suck up all the excess water. This shower was used only few times, in fact it required a very long procedure that resulted in dehydrating astronaut's skin. Indeed, in the Skylab shower, water was not free flowing like a normal shower at home. The water droplets floated around

gamani bagnati, spazzolini da denti e gomme da masticare. Tale situazione non è cambiata fino alle missioni Soyuz.

IL PROGRAMMA APOLLO

Le missioni Apollo (1968-1972) furono effettuate utilizzando capsule più grandi, in modo che gli astronauti avessero più possibilità di movimento all'interno delle navicelle spaziali, ma le condizioni igieniche rimasero pressoché le stesse delle missioni precedenti [*]. In realtà, gli astronauti indossavano dei "fecal retention garments" e potevano lavarsi con asciugamani e tovaglioli bagnati. Gli astronauti delle missioni Apollo potevano anche utilizzare acqua calda, filo interdentale e un dentifricio commestibile. In più, essi potevano radersi con schiuma da barba e rasoio senza la necessità di utilizzare alcun pennello, ma usando un asciugamano per pulire sia il rasoio che le loro facce. Era necessario utilizzare molta schiuma, per intrappolare i peli della barba e non lasciarli fluttuare per il veicolo spaziale.

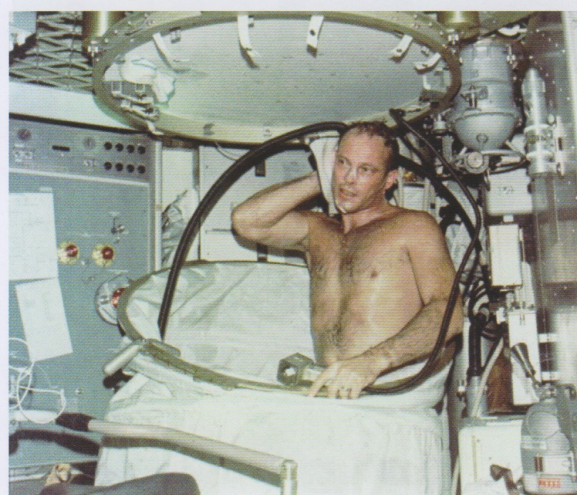
PRIME STAZIONI SPAZIALI

Dopo la messa in orbita delle prime stazioni spaziali (1970), progettate per la lunga permanenza degli astronauti nello spazio (missioni dei Programmi Salyut e Skylab), cominciarono ad essere prodotte le prime "docce spaziali" (Fig. 1). Queste docce erano costituite essenzialmente da un corpo cilindrico in materiale plastico, in modo da non far disperdere getti e goccioline d'acqua nell'ambiente circostante. Una loro caratteristica era la presenza di un aspiratore speciale per fluidi, che garantiva agli astronauti un appropriato ricircolo di acqua [*].

Poiché il ricircolo e la conservazione dell'acqua è all'origine della formazione di biofilm e della diffusione di microbi nel sistema idrico, l'acqua potrebbe rappresentare un potenziale veicolo di malattie infettive in un habitat ristretto come quello delle navicelle spaziali [1]. La prima doccia spaziale è stata installata a bordo dello Skylab (1973) (Fig. 2 - 3) [37]. Consisteva in una doccia pieghevole collocata nel ponte inferiore della stazione spaziale. Quando un astronauta voleva farsi la doccia l'involucro di plastica di forma cilindrica veniva tirato in alto. L'astronauta poteva, quindi, far scorrere 3 litri di acqua da un ugello per risciacquarsi dopo essersi insaponato. Per aspirare tutta l'acqua in eccesso, poi, vi era uno speciale tubo di aspirazione. Tale doccia è stata usata solo poche volte, poiché richiedeva una procedura molto lunga che portava la pelle dell'astronauta a disidratarsi. Infatti, nella doccia dello Skylab, l'acqua non era libera di fluire come avviene nelle nostre case. Le goccioline d'acqua galleggiavano e gli astronauti dovevano utilizzare un panno per asciugare il loro corpo. Un aspiratore, poi, rimuoveva l'umidità in eccesso.

Inoltre, in condizioni di microgravità, l'acqua tende ad aderire alle pareti e al corpo, quindi è molto difficile da rimuovere, poiché non scivola [*]. Nello spazio, infatti,

FIG. 2 - The first space shower was installed aboard the Skylab. / La prima doccia spaziale è stata installata a bordo dello Skylab. (Credits: NASA)



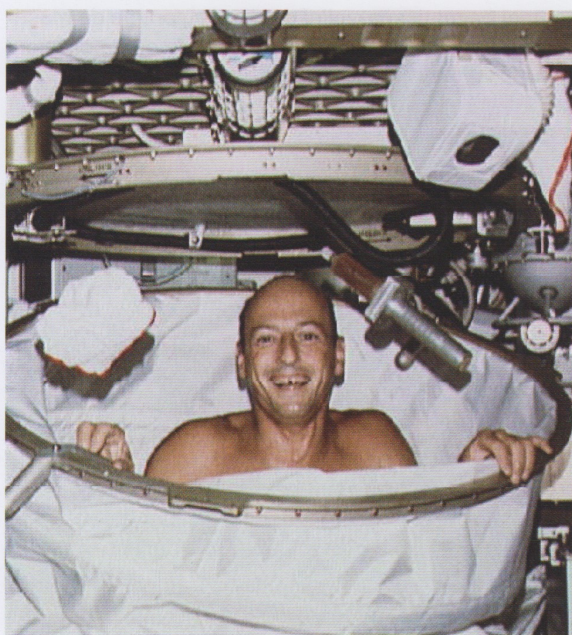


FIG. 3 - Astronaut Charles "Pete" Conrad after a shower aboard Skylab.
/ L'astronauta Charles "Pete" Conrad dopo aver fatto la doccia a bordo dello Skylab. (Credits: NASA)

non appena le goccioline entrano in contatto con la pelle, formano un film che tende ad aderire piuttosto tenacemente e che deve essere rimosso o raschiato come avviene per le creme abbronzanti (Fig. 4).

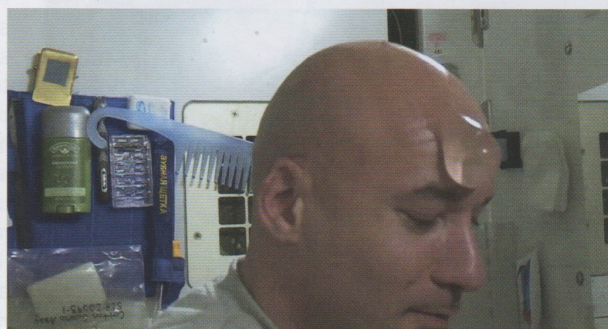
La prima doccia spaziale sovietica venne installata a bordo della Salyut 3 (1974) [*]. Era fornita di una molletta per il naso, occhialini e boccaglio. Era possibile effettuare una sola doccia al mese ma la procedura era molto lunga ed i cosmonauti preferivano continuare a lavarsi con gli asciugamani bagnati. Anche se la doccia della Salyut 6 (Fig. 5) rappresentava un miglioramento del modello Salyut 3, i cosmonauti ammisero che l'eccessiva quantità di acqua necessaria rendeva il dispositivo poco pratico.

MIR

La Mir (1986) è stata l'ultima stazione spaziale con una doccia (Fig. 6). La doccia, denominata "Bania", era situata nel modulo Kvant 2 e, anche in questo caso, venne utilizzata solo raramente. "Bania" rappresentava un grande miglioramento rispetto alle unità installate nelle precedenti stazioni Salyut, ma si rivelò di difficile uso a causa della quantità di tempo necessaria per metterla in funzione, utilizzarla e riporla. La doccia, che era costituita da una tenda di plastica per evitare che l'acqua po-



FIG. 4 - Italian astronauts showing how clingy water can be in space.
/ Astronauti italiani mostrano quanto possa essere appiccicosa l'acqua nello spazio. (Credits: ESA; NASA)





and astronauts used a washcloth to clean their body. A vacuum then removed the moisture from the astronaut's body.

Moreover, in microgravity conditions, water tends to adhere to the wall and to the body, so it is very hard to remove, since it does not slide down [*]. In space, as soon as the droplets make contact with the skin, they form a film that tends to cling rather tenaciously and has to be wiped or even scraped off like suntan lotion (Fig. 4).

The first Soviet space shower was installed aboard Salyut 3 (1974) [*]. It was provided with a nose clip, goggles and a snorkel. Only one shower per month was planned, but such shower procedure was very long and cosmonauts preferred to continue washing by wet towels. Although Salyut 6 shower (Fig. 5) was an improvement of the Salyut 3 model, cosmonauts admitted that the hassle of using the water-hungry device made it impractical.

MIR

Mir (1986) was the last space station featuring a shower deck (Fig. 6). The shower, referred to as "Bania", was located in the Kvant 2 module and, even in this case, it was rarely used.

"Bania" was a major improvement on the units installed in the previous Salyut stations, but it proved of

tesse galleggiare via e da un aspiratore per raccoglierla tramite un flusso d'aria, fu poi trasformata in un bagno turco. Il procedimento per il lavaggio e l'asciugatura era molto lungo e richiedeva molto tempo.

Alla fine, la doccia venne rimossa e lo spazio venutosi a creare venne riutilizzato. Quando la doccia non fu più disponibile, i membri dell'equipaggio per lavarsi utilizzavano delle salviette umidificate, con del sapone erogato da un contenitore simile ad un tubetto di dentifricio. I cosmonauti potevano anche usare un lavabo dotato di cappuccio in plastica, situato nel modulo principale (DOS-7).

SPACE SHUTTLE

A causa della grande quantità di acqua necessaria e degli inconvenienti già descritti del sistema, le docce spaziali furono utilizzate solo raramente e gli astronauti continuavano a preferire l'utilizzo di salviette o asciugamani imbevuti. Per tali motivi, lo Space Shuttle non è stato fornito di alcuno spazio per la doccia [*].

I tre generatori di energia elettrica a celle a combustibile dello Space Shuttle producevano acqua potabile, che veniva dirottata e immagazzinata in serbatoi, per il consumo da parte dell'equipaggio e per l'igiene personale [*].

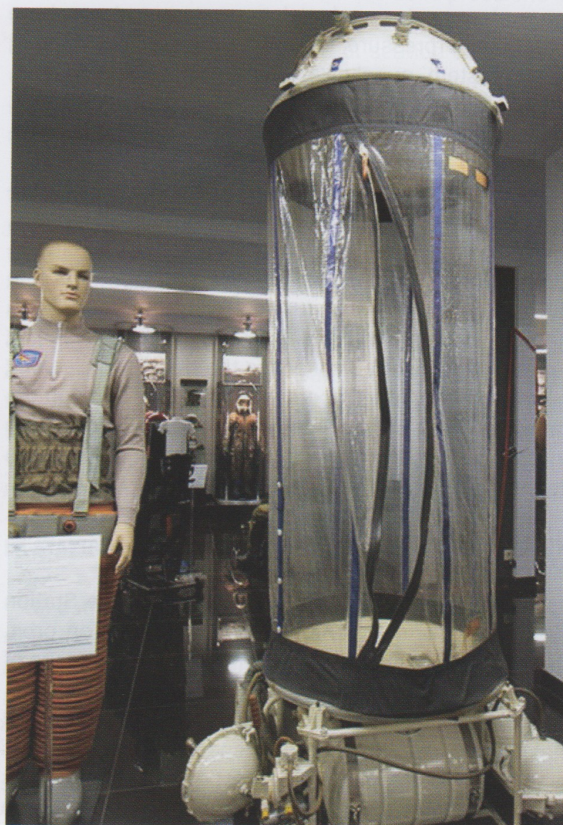
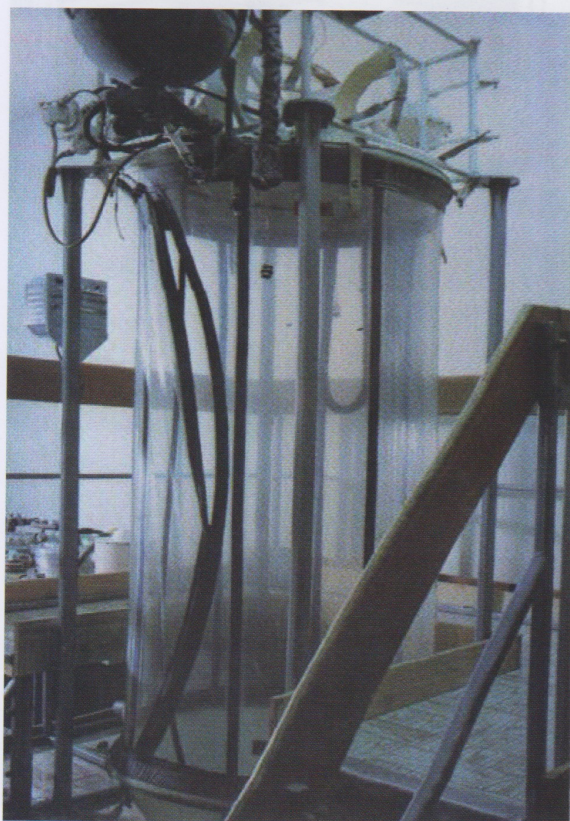


Fig.5 - Shower aboard Salyut 6. / Doccia a bordo della Salyut 6. (Credits: www.pinterest.com/pin/575264552375816830/; <http://thebrigade.com/2015/02/01/top-secret-russian-spacesuit-factory-16-photos/>)



difficult utilization due to the amount of time required to set up, use, and pack it away. The shower, which featured a plastic curtain to prevent the water from floating away and a fan to collect water via airflow, was later converted into a steam room. The procedure for washing and drying was very long.

Eventually, after removing the plumbing, the occupied space was reused. When the shower was unavailable, crew members washed by using wet wipes, with soap dispensed from a tube container, or by using a wash-basin equipped with a plastic hood, located in the core module (DOS-7).

SPACE SHUTTLE

Because of the large amount of water needed and because of the already described inconvenience of the system, space showers were used only rarely and astronauts preferred to wash themselves with refreshing wipes or soaked towels. For such reasons the Space Shuttle was not provided with any space shower [*].

The three fuel cell power plants of the Space Shuttle produced potable water, which was directed and stored in potable water tanks for flight crew consumption and personal hygiene [*].

The Space Shuttle's ECLSS (Environmental Control And Life Support System) consisted of an air revitalization system, water coolant loop systems, atmosphere revitalization pressure control system, active thermal control system, supply water and waste water system, waste collection system and airlock support system. These systems interacted to provide a habitable environment for the flight crew.

To keep clean, astronauts were provided with a personal hygiene kit including a toothbrush, toothpaste, dental floss, comb, razor and other items [38]. In addition to keeping themselves clean, astronauts also had to keep their living quarters clean and tidy. Each member of the shuttle crew took turns at housekeeping duties, which involved collecting the trash and cleaning the dining area, walls, floors and air filters. To clean up, the astronauts sprayed a liquid detergent called biocide on surfaces and then wiped it off. They used a vacuum cleaner to clean out air filters.

INTERNATIONAL SPACE STATION

Astronauts living on the International Space Station (ISS) (2000) often spend 6 or more months on orbit. Therefore, a prolonged staying in space is a key issue of concern for personal hygiene.

In the last decades, evidences have demonstrated that astronaut's body during spaceflight encounters increased risk of microbial infections and conditions because of immune dysregulation. Moreover, in space the immune system of human beings is altered as far as leukocyte, monocyte and granulocyte function and distribution are concerned [12-17]. Moreover, risk for

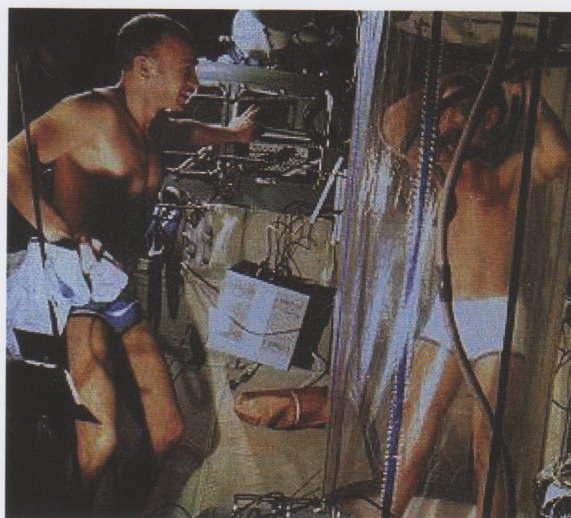


FIG. 6 - Shower aboard Mir space station. / Doccia a bordo della Stazione Mir. (Credits: www.astronautix.com/flights/mireo3.htm)



FIG.7 - The "Shower rack" conceived to be installed aboard the ISS. / "Shower rack" progettato per essere installato a bordo della Stazione Spaziale Internazionale. (Credits: <http://malunowicz.com/florida/Jpg/Pictures/SpaceStationShower.jpg>)



FIG. 8 - Astronaut Samantha Cristoforetti washing her arm by sponge bath. / L'astronauta Samantha Cristoforetti si lava le braccia. (Credits: ESA)



FIG. 9 - Edible toothpaste and toothbrushes used in space missions. / Dentifricio commestibile e spazzolino da denti utilizzati nelle missioni spaziali. (Credits: <http://cdn.theatlantic.com/static/mt/assets/science/Screen%20Shot%202012-09-06%20at%2012.13.43%20PM.png>; NASA)

L' ECLSS (Environmental Control And Life Support System) dello Space Shuttle consisteva in un sistema di condizionamento dell'aria, un sistema di raffreddamento dell'acqua, un sistema di controllo della pressione atmosferica, un sistema di controllo termico, un sistema di approvvigionamento idrico e di scarico delle acque, un sistema di raccolta dei rifiuti e un sistema di airlock support. Tutti questi sistemi interagivano per creare un ambiente abitabile per l'equipaggio.

Agli astronauti veniva fornito un kit di igiene personale con spazzolino da denti, dentifricio, filo interdentale, pettine, rasoio e altri oggetti [38]. Essi, oltre a mantenere puliti se stessi, dovevano tenere in ordine e puliti anche gli alloggiamenti. Quindi, tutti i membri dell'equipaggio si alternavano nelle mansioni di pulizia, che comprendevano la raccolta della spazzatura e la pulizia della sala da pranzo, delle pareti, dei pavimenti e dei filtri dell'aria. Per la pulizia generale, spruzzavano sulle superfici un detersivo liquido con biocida e poi strofinavano per eliminare lo sporco. Essi usavano, inoltre, un aspirapolvere per pulire i filtri dell'aria.

LA STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE

Gli astronauti che vivono a bordo della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) (2000), spesso passano 6 o più mesi in orbita. Pertanto, l'igiene personale in microgravità è una questione da attenzionare soprattutto in caso di soggiorno prolungato nello spazio.

Negli ultimi decenni, diverse evidenze hanno dimostrato che il corpo degli astronauti durante i voli spaziali venga sottoposto ad un aumentato rischio di patologie e di infezioni microbiche a causa della disregolazione del sistema immunitario. Nello spazio risultano, inoltre, alterate anche la funzione e la distribuzione di leucociti,



FIG. 10 - Hair washing in space / Lavaggio dei capelli nello spazio. (Credits: NASA)



FIG. 11 - Astronaut Karen Nyberg washes her hair using a no-rinse shampoo. / L'astronauta Karen Nyberg si lava i capelli utilizzando uno shampoo senza risciacquo. (Credits: NASA)

infections is further heightened by increase in virulence of pathogens in microgravity. Bacteria exhibit increased virulence, increased resistance to environmental stresses (acid, osmotic, and thermal), increased survival in macrophages and global changes in gene expression at transcriptional and translational levels [3, 39-40].

In light of the previous evidences, NASA has designed a special "Shower rack" (Fig.7). However, this "Shower

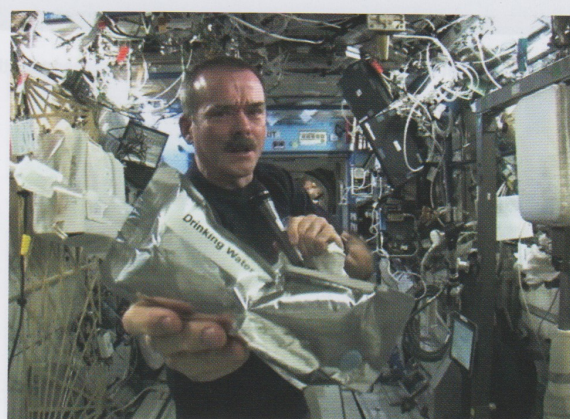


FIG. 12 - Astronaut Chris Hadfield shows a drinking water pouch. / L'astronauta Chris Hadfield mostra un contenitore di acqua potabile. (Credits: CSA)

monociti e granulociti [12-17]. Oltre a ciò, il rischio di infezioni è ulteriormente accresciuto dall'aumento della virulenza dei patogeni in condizioni di microgravità. I batteri mostrano maggiore virulenza, maggiore resistenza agli stress ambientali (acido, osmotico e termico), aumento della sopravvivenza nei macrofagi e cambiamenti globali nell'espressione genica a livello trascrizionale e traduzionale [3,39-40].

Alla luce delle evidenze fin qui esposte, la NASA ha progettato uno speciale "Shower rack" (Fig. 7), che, però, non è mai stato portato in orbita all'interno della ISS. La quantità di acqua nella Stazione Spaziale Internazionale è assai limitata, cosicché lavarsi con delle spugne permette di risparmiare una notevole quantità di essa (Fig. 8). Oltre a ciò, agli equipaggi della ISS, per risparmiare acqua, vengono forniti dentifricio commestibile e shampoo senza risciacquo (Fig. 9).

Nello spazio, per lavarsi i capelli, gli astronauti usano uno shampoo senza risciacquo (Fig. 10, 11). Applicano



FIG. 13 - Water pouch for use in space. / Contenitore di acqua da usare nello spazio. (Credits: CSA)



FIG. 14 - Hand washing in space. / Lavaggio delle mani nello spazio (Credits: CSA)

rack" was never put into the orbit inside the ISS. This is because there is a limited supply of water on the International Space Station (ISS), therefore taking sponge baths also preserves water supply (Fig. 8). In addition, ISS crews are provided with edible toothpaste and no-rinse shampoo to save water (Fig. 9).

In space, astronauts use a no-rinse shampoo to wash their hair (Fig. 10, 11). They apply shampoo (Fig. 12-14), vigorously rub their hair and scalp. Then, they use a towel to wipe their hair clean. Astronauts must not let hairs fall off the towel because floating hairs can create a safety hazard, since they can be inhaled or aggravate astronauts' eyes. Hair can also clog filters and affect air circulation aboard the spacecraft or space station [*].

For this reason and for applying shampoo more easily, very often astronauts cut their hair short. They get a haircut before lift-off and then haircuts aboard the ISS are accomplished with a vacuum system (Fig. 15), in order to vacuum away loose unattached hair that can present a danger if left in the space station's atmosphere. While on short-duration flights astronauts do not require a haircut, on longer flights some astronauts need a trim.

A similar system is used for shaving (Fig. 16). Shaving in space is very similar to shaving on Earth. Astronauts just have to be careful not to let stray whiskers escape into the air. Astronauts shave with foam or an electric razor, but they prefer the latter, because it does not require water and automatically collects hair [*].

Further, in weightlessness, the human body experiences increased sweating, decreased gastrointestinal transit time and reduced salivation, which leads to a higher risk of dental plaque [*]. Increased transpiration in stressing events, as lift-off or Extra Vehicular Activities (EVAs), should also be considered. In fact, today space walks may last as long as 7 hours [*].

On average, each crew member of a space mission needs about 5 kg per day between water (3.52 kg), food (0.62 kg) and oxygen (0.84 kg). These are converted

to shampoo from a container (Fig. 12-14), lo strofinano vigorosamente sui capelli e sul cuoio capelluto e, poi, usano un asciugamano per l'asciugatura. Gli astronauti non devono lasciare cadere i capelli perché i capelli che volteggiano nell'aria sono in grado di costituire un pericolo per la sicurezza, dal momento che possono essere inalati o finire negli occhi degli astronauti stessi. I capelli persi possono anche intasare i filtri ed influire sulla circolazione dell'aria a bordo della stazione spaziale [*].

Per tutte queste ragioni e per applicare lo shampoo più facilmente, molto spesso gli astronauti portano i capelli corti. Capita, così, che si facciano tagliare i capelli dal loro barbiere prima del decollo, per poi, a tempo opportuno, tagliarli a bordo della ISS utilizzando un sistema di aspirazione (Fig. 15). Mentre nei voli di breve durata gli astronauti non necessitano di un taglio di capelli, nei voli più lunghi potrebbero avere bisogno di una nuova sistemazione.

Un sistema simile è usato per la rasatura (Fig. 16). La rasatura nello spazio è molto simile alla rasatura sulla Terra. Gli astronauti devono solo stare attenti a non lasciare che i peli di barba e baffi tagliati si disperdano nell'ambiente. Gli astronauti si fanno la barba con la schiuma o con un rasoio elettrico. La maggior parte di loro preferisce questa seconda soluzione non essendo necessario l'uso di acqua ed essendo automatica la raccolta dei peli [*].

In assenza di gravità, il corpo umano mostra un aumento della sudorazione, una riduzione del tempo di transito intestinale e una ridotta salivazione, che porta ad un maggiore rischio di sviluppare placca dentale [*]. Va considerato, inoltre, l'aumento di sudorazione nel corso di eventi stressanti, come il decollo o le attività extraveicolari (EVA): infatti, oggi, una passeggiata spaziale può durare anche 7 ore [*].

In media, ogni membro dell'equipaggio di una missione spaziale ha bisogno di circa 5 kg al giorno, tra acqua (3,52 kg), alimenti (0,62 kg) e ossigeno (0,84 kg). Que-



FIG. 15 - Astronaut Catherine Coleman and astronaut Paolo Nespoli during a hair-cut in space. / L'astronauta Catherine Coleman taglia i capelli all'astronauta Paolo Nespoli. (Credits: NASA)

by the organism in solid waste (0.11 kg), liquid waste (3.87 kg) and carbon dioxide (1.00 kg) [*]. Such quantities vary depending on the level of physical conditioning. Therefore, space walking astronauts wear a large diaper called MAG (Maximum Absorption Garment) to collect bodily waste, which is discarded when the astronaut returns to the spacecraft [*].

In real terms, the quantity of water really consumed during a space mission is about twice the quantity indicated above, mainly for non-biological uses but for personal hygiene [*].

Water storage and distribution system should be manufactured using noncorrosive material avoiding biofilm formation and, for this reason, anti-biofouling coatings and materials should be developed in order to prevent spread of microbes in the water system. Potable water should be pasteurized or undergo catalytic oxidation, and point-of-use submicron filters should be used as protection from waterborne microbes [1].

The ECLSS (Environmental Control and Life Support System) is a group of devices which supports human beings in order to survive in outer space, providing them with fresh air, water and food (Fig. 17).

After meals, astronauts clean utensils and trays with wet wipes [*]. Spacecraft own water reserve for re-hydrating food, for personal hygiene and for scientific experiments [*].

With the limited access to the ISS, the Space Station has to work as efficiently as possible. Water is one of the most precious resources aboard, so it is recycled and reused as much as possible. It is extracted from the humid air and the solid waste [*]. The crew's urine is also collected and recycled to water. This purified water is perfectly clean and drinkable.

sti vengono convertiti dall'organismo in rifiuti solidi (0,11 kg), rifiuti liquidi (3,87 kg) e anidride carbonica (1,00 kg) [*]. Tali quantità variano a seconda dell'esercizio fisico svolto. Pertanto, gli astronauti che effettuano una passeggiata spaziale indossano un pannolone chiamato MAG (Maximum Absorption Garment; indumento a massimo assorbimento) per raccogliere le deiezioni del corpo, che viene gettato via quando l'astronauta ritorna nel veicolo spaziale [*].

In realtà, la quantità di acqua effettivamente consumata durante una missione spaziale è circa il doppio della quantità sopra indicata, e viene utilizzata princi-

palmente per usi non biologici, come ad esempio, per l'igiene personale [*].

Il serbatoio di acqua ed il sistema di distribuzione devono essere realizzati utilizzando materiale non corrosivo per evitare la formazione di biofilm e per questo motivo vanno sviluppati dei rivestimenti specifici antivegetativi al fine di prevenire la diffusione di microbi nel sistema idrico. L'acqua potabile deve essere pastorizzata e sottoposta ad ossidazione catalitica, e dovrebbero essere usati filtri specifici per prevenire la contaminazione dell'acqua da parte dei microbi [1].

L'ECLSS (Environmental Control and Life Support System) è costituito da un gruppo di dispositivi che aiutano gli esseri umani a sopravvivere nello spazio, fornendo loro aria fresca, acqua e cibo (Fig. 17).

Dopo i pasti, essi puliscono gli utensili ed i vassoi con salviette umidificate [*].

Le navicelle spaziali, dunque, possiedono riserve d'acqua per reidratare gli alimenti, per l'igiene personale e per gli esperimenti scientifici [*].

A causa della limitata possibilità di accesso alla ISS, la Stazione Spaziale deve lavorare nel modo più efficiente possibile. L'acqua è una delle risorse più preziose a bordo, perciò viene riciclata e riutilizzata il più possibile. Viene estratta dall'aria umida e dai rifiuti solidi [*]. Anche l'urina dell'equipaggio viene raccolta e riciclata per ottenere acqua. L'acqua purificata è perfettamente pulita e potabile.

La pelle degli astronauti necessita di cure particolari, perché nello spazio si disidrata molto più velocemente. Così, durante ogni missione spaziale vengono fornite lozioni e creme. È stato stimato che un astronauta nello spazio perda solitamente circa 3 grammi di pelle al giorno, il doppio della quantità di pelle che un uomo perde sulla Terra. Questa quantità corrisponde a più di mezzo chilo a persona di cellule morte che galleggiano all'interno della stazione spaziale per una missione standard della durata di sei mesi. Questo spiega anche



FIG. 16 - Shaving in space. / Astronauti che si radono la barba nello spazio. (Credits: CSA; www.artemjew.ru/en/2014/05/19/haircut-shaving-iss/#)

The skin of astronauts needs special care because in space it dries out much faster. So, lotions and creams are provided during every space trip. It has been estimated that in space an astronaut usually loses about 3 grams of skin per day, which is double the amount of skin that he/she would lose on Earth. This adds up to more than half a kilo of dead skin cells per person floating around in the Station on a standard half-year mission. That is also why the ISS's ECLSS should be reliable and appropriate to filter the air, removing floating particles like dust or skin flakes. The ECLSS also purifies the air using a trace contaminant control system to get rid of unwanted odours and gases [*].

In a closed environment, like inside the ISS, people quickly become very sensitive to smells. Perfume, air-refreshing spray, flavoured refreshing wipes or anything that can create strong odours is strictly prohibited. Moreover, alcohol-based hygienic products have to be avoided, because parts of the water supply of the ISS are generated through recycling the humidity: if the humidity contains alcohol, the regenerated product will be alcoholic water [*].

Moreover, the psychological aspect related to personal hygiene has to be taken into account [*]. In outer space, hundreds of miles above your home planet, and constrained in a structure that is nothing like the home you are used to, familiar elements are important. So, most astronauts need to take their favourite hygienic products with them to the Space Station.

For such reason, ESA is always searching for commercial cooperation with high-profile European hygiene and cosmetic companies to develop products aiming to satisfy both strict safety and functional requirements imposed by the space environment.

il perché gli ECLSS della ISS siano idonei per filtrare l'aria, rimuovere le particelle di polvere o le desquamazioni della pelle disperse nell'aria. L'ECLSS purifica anche l'aria tramite un sistema di controllo dei contaminanti per eliminare odori e gas indesiderati [*].

In un ambiente chiuso, come l'interno della ISS, gli astronauti diventano rapidamente molto sensibili agli odori. Sono severamente proibiti profumi, deodoranti spray, salviette rinfrescanti aromatizzate o qualsiasi cosa che possa creare odori forti. Devono anche essere evitati i prodotti igienici a base di alcol, perché una parte delle forniture idriche della ISS è generata attraverso sistemi di riciclo dell'umidità: se l'umidità contiene alcol, il prodotto di tale riciclo sarà acqua alcolica [*].

Inoltre, anche l'aspetto psicologico relativo all'igiene personale deve essere preso in considerazione [*]. Nello spazio, a centinaia di chilometri

lontano dal proprio pianeta, costretti a vivere in una struttura che non è per niente simile alla casa a cui si è abituati, gli elementi familiari diventano importanti. Così, la maggior parte degli astronauti sente la necessità di portare con sé nella Stazione Spaziale i prodotti igienici preferiti.

Per tale motivo l'ESA è alla ricerca di una cooperazione commerciale con le società europee di cosmetica ed igiene di più alto profilo, al fine di sviluppare prodotti che mirino a soddisfare i rigorosi requisiti di sicurezza e funzionalità imposti dall'ambiente spaziale.

Generalmente, gli astronauti cambiano la camicia, le calze e la biancheria intima ogni due giorni, ed i pantaloni una volta alla settimana. Infine, in microgravità, non esiste un modo pratico per lavare gli indumenti, infatti

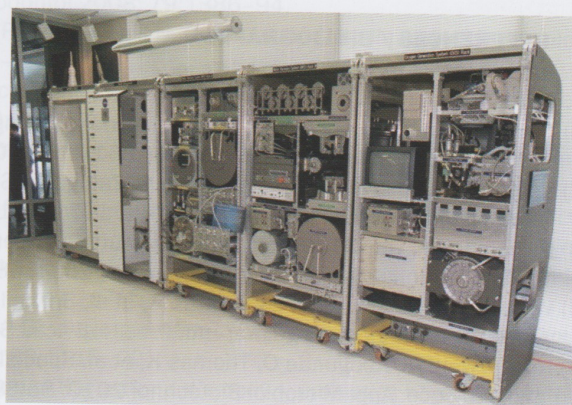


FIG. 17 - Mock-up of the ECLSS designed to be installed into the ISS. From left to right, Shower Rack, Waste Management Rack, Water Recovery System (WRS) Rack #2, WRS Rack #1, and Oxygen Generation System (OGS) rack are shown / Modello di ECLSS progettato per essere installato sulla ISS. Da sinistra verso destra, vengono mostrati lo "shower rack", il sistema di raccolta dei rifiuti, il sistema di raccolta dell'acqua (WRS) Rack #2, WRS Rack #1, ed il sistema di generazione dell'ossigeno (OGS) (Credits: NASA)



Generally, astronauts change their shirts, socks and underwear every two days, and their pants once a week. Lastly, in microgravity there is no practicable way to wash clothing, in fact water would not soak the trousers and shirts, but it would merely hover around them or, at best, stick like an oil stain. Therefore, astronauts throw their garments away after wearing them few times.

► CONCLUSION

Although space showers have already been developed in the past four decades, nowadays astronauts still continue to wash themselves by wet towels and sponge baths. Giving the chance to have showers in space will let astronauts face with prolonged mission in a more comfortable and healthy setting.

Moreover, the hygienic characteristics typical of showers would surely lead to a higher number of women in space, because of their higher hygienic needs.

However, space showers, as currently conceived, lack practicality in microgravity conditions.

Ideally, the future implementation of Rotating Wheel Space Stations will solve all problems related to microgravity while taking a shower. However, prior to having such innovative space stations, an alternative approach is needed for letting astronauts have shower on orbit.

In this perspective, trip to Mars and asteroids, as well as space tourism, appear to be much more practicable in a future.

For the previous reasons, innovative approaches to manage personal hygiene of astronauts in space are welcome to be developed and implemented.

l'acqua non riuscirebbe ad impregnare i pantaloni e le camicie, ma potrebbe solo oscillare attorno a loro o, nella migliore delle ipotesi, attaccarsi come una macchia d'olio. Invece di lavarli, gli astronauti gettano via i loro indumenti dopo averli indossati un certo numero di volte.

► CONCLUSIONI

Anche se diverse docce spaziali sono già state sviluppate negli ultimi quattro decenni, al giorno d'oggi gli astronauti continuano a lavarsi con asciugamani imbevuti. Dare la possibilità di utilizzare delle docce nello spazio permetterà agli astronauti di affrontare una missione prolungata in un ambiente più confortevole e sano.

Oltre a ciò, le caratteristiche igieniche offerte da una doccia implicherebbero la possibilità di inserimento di un numero maggiore di astronauti donne, per le maggiori esigenze di pulizia.

Purtroppo, le docce spaziali, per come sono state fino ad oggi concepite, mancano di praticità in condizioni di microgravità.

Idealmente, la realizzazione di avveniristiche stazioni spaziali rotanti risolverà tutti i problemi relativi alla doccia in condizioni di microgravità. Ma, prima di poter realizzare tali innovative stazioni spaziali è necessario un approccio alternativo per permettere agli astronauti in orbita di fare una doccia igienica e sicura.

Alla luce di ciò, un viaggio verso Marte e gli asteroidi, così come il turismo spaziale, potrebbero, in futuro, diventare realtà concrete.

Da quanto esposto, risulta necessario lo sviluppo e l'implementazione di nuovi approcci innovativi per la cura dell'igiene personale degli astronauti nello spazio.

► REFERENCES / BIBLIOGRAFIA

*. Citations reported by technical-scientific websites.

- 1) Mermel LA. Infection prevention and control during prolonged human space travel. *Clin Infect Dis*. 2013 Jan;56(1):123-30. doi: 10.1093/cid/cis861. Epub 2012 Oct 9.
- 2) Nefedov YG, Shilov VM, Konstantinova IV, Zaloguyev SN. Microbiological and immunological aspects of extended manned space flights. *Life Sci Space Res*. 1971;9:11-6.
- 3) Nickerson CA, Ott CM, Wilson JW, Ramamurthy R, Pierson DL. Microbial response to microgravity and other low-shear environments. *Microbiol Mol Biol Rev* 2004; 68:345-61.
- 4) Wilson JW, Ott CM, Höner zu Bentrup K, et al. Spaceflight alters bacterial gene expression and virulence and reveals a role for global regulator Hfq. *Proc Natl Acad Sci* 2007; 104:16299-304.
- 5) Rosenzweig JA, Abogunde O, Thomas K, et al. Spaceflight and modeled microgravity effects on microbial growth and virulence. *Appl Microbiol Biotechnol* 2010; 85:885-91.
- 6) Crabbé A, Schurr MJ, Monsieurs P, et al. Transcriptional and proteomic responses of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 to spaceflight conditions involve Hfq regulation and reveal a role for oxygen. *Appl Environ Microbiol* 2011; 77:1221-30.
- 7) Kacena MA, Merrell GA, Manfredi B, et al. Bacterial growth in space-flight: logistic growth curve parameters for *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Appl Microbiol Biotechnol* 1999; 51:229-34.
- 8) Tixador R, Richoilley G, Gasset G, et al. Preliminary results of Cytos 2 experiment. *Acta Astronaut* 1985; 12:131-4.
- 9) Tixador R, Richoilley G, Gasset G, et al. Study of minimal inhibitory concentration of antibiotics on bacteria cultivated in vitro in space (Cytos 2 experiment). *Aviat Space Environ Med* 1985; 56:748-51.



- 10) Lapchine L, Moatti N, Gasset G, Richoille G, Templier J, Tixador R. Antibiotic activity in space. *Drugs Exp Clin Res* 1986; 12:933-8.
- 11) Lynch SV, Mukundakrishnan K, Benoit MR, Ayyaswamy PS, Matin A. *Escherichia coli* biofilms formed under low-shear modeled microgravity in a ground-based system. *Appl Environ Microbiol* 2006; 72:7701-10.
- 12) Lesnyak A, Sonnenfeld G, Avery L, et al. Effect of SLS-2 spaceflight on immunologic parameters of rats. *J Appl Physiol* 1996; 81:178-82.
- 13) Crucian BE, Cabbages ML, Sams CF. Altered cytokine production by specific human peripheral blood cell subsets immediately following spaceflight. *J Interferon Cytokine Res* 2000; 20:547-56.
- 14) Kaur I, Simons ER, Castro VA, Mark Ott C, Pierson DL. Changes in neutrophil functions in astronauts. *Brain Behav Immun* 2004; 18: 443-50.
- 15) Kaur I, Simons ER, Castro VA, Ott CM, Pierson DL. Changes in monocyte functions of astronauts. *Brain Behav Immun* 2005; (19):547-54.
- 16) Crucian B, Stowe R, Quiriarte H, Pierson D, Sams C. Monocyte phenotype and cytokine production profiles are dysregulated by short-duration spaceflight. *Aviat Space Environ Med* 2011; 82:857-62.
- 17) Cervantes JL, Hong BY. Dysbiosis and Immune Dysregulation in Outer Space. *Int Rev Immunol*. 2015 Aug 19:1-16.
- 18) Davidson JM, Aquino AM, Woodward SC, Wilfinger WW. Sustained microgravity reduces intrinsic wound healing and growth factor responses in the rat. *FASEB J* 1998; 13:325-9.
- 19) Novikova ND. Review of the knowledge of microbial contamination of the Russian manned spacecraft. *Microb Ecol* 2004; 47:127-32.
- 20) Ott CM, Bruce RJ, Pierson DL. Microbial characterization of free floating condensate aboard the Mspace station. *Microb Ecol* 2004; 47:133-6.
- 21) Weber TP, Stilianakis NI. Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review. *J Infect* 2008; 57:361-73.
- 22) Lindsley WG, Blachere FM, Thewlis RE, et al. Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. *PLoS One* 2010; 5:e15100.
- 23) Mermel LA. Preventing the spread of influenza A H1N1 2009 to health-care workers. *Lancet Infect Dis* 2009; 9:723-4. (Erratum in: *Lancet Infect Dis* 2010; 10:16).
- 24) Bassetti S, Bischoff WE, Walter M, et al. Dispersal of *Staphylococcus aureus* into the air associated with a rhinovirus infection. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2005; 26:196-203.
- 25) Gehanno JF, Louvel A, Nouvellon M, Caillard JF, Pestel-Caron M. Aerial dispersal of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in hospital rooms by infected or colonised patients. *J Hosp Infect* 2009; 71:256-62.
- 26) Pittet D, Allegranzi B, Boyce J, World Health Organization World Alliance for Patient Safety First Global Patient Safety Challenge Core Group of Experts. The World Health Organization guidelines on hand hygiene in health care and their consensus recommendations. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2009; 30:611-22.
- 27) Rosema NA, Timmerman MF, Versteeg PA, et al. Comparison of the use of different modes of mechanical oral hygiene in prevention of plaque and gingivitis. *J Periodontol* 2008; 79:1386-94.
- 28) Mermel LA, Josephson SL, Dempsey J, Parenteau S, Perry C, Magill N. Outbreak of *Shigella sonnei* in a clinical microbiology laboratory. *J Clin Micro* 1997; 35:3163-5.
- 29) Lichter JA, Van Vliet KJ, Rubner MF. Design of antibacterial surfaces and interfaces: polyelectrolyte multilayers as a multifunctional platform. *Macromolecules* 2009; 42:8573-86.
- 30) Nevo I, Fitzpatrick M, Thomas RE, et al. The efficacy of visual cues to improve hand hygiene compliance. *Simul Healthc* 2010; 5:325-31.
- 31) Czapalla M, Aponte V, Chappell S, Klaus D. Analysis of a spacecraft life support system for a Mars mission *Acta Astronaut* 2004;55:537-47.
- 32) Rutala WA, Gergen MF, Weber DJ. Room decontamination with UV radiation. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2010; 31:1025-9.
- 33) Cohrs RJ, Mehta SK, Schmid DS, Gilden DH, Pierson DL. Asymptomatic reactivation and shed of infectious varicella zoster virus in astronauts. *J Med Virol* 2008; 80:1116-22.
- 34) Saei AA, Barzegari A. e microbiome: the forgotten organ of the astronaut's body – probiotics beyond terrestrial limits. *Future Microbiol* 2012;7(9):1037-1046.
- 35) www.cosmicelk.net/originsofspaceflight.htm
- 36) www.astronautix.com/craft/g5c.htm
- 37) <http://jalopnik.com/why-skylab-was-americas-first-and-best-home-in-space-505269461>
- 38) <http://science.howstuffworks.com/astronauts-eat-in-space1.htm>
- 39) Nickerson CA, Ott CM, Mister SJ, Morrow BJ, Burns-Keliher L, Pierson DL (2000) *Infect Immun* 68:3147-3152.
- 40) Wilson JW, Ramamurthy R, Porwollik S, McClelland M, Hammond T, Allen P, Ott CM, Pierson DL, Nickerson CA (2002) *Proc Natl Acad Sci USA* 99:13807-13812.