Il volo umano verso la Luna e Marte. Ecologia e medicina spaziale

Descrizione

Francesco Pizzarelli

Appassionato dei voli spaziali sin dai tempi di Laika e Yuri Gagarin, ha diretto la SOC Nefrologia dell' Ospedale SM Annunziata di Firenze e insegnato alla Scuola di Specializzazione di Nefrologia dell'Università degli Studi di Firenze. Già componente del Comitato Etico di Area Vasta Toscana-Centro, è stato segretario della Società Italiana di Nefrologia e ha partecipato alla stesura di linee guida nazionali e internazionali.

Marco Pizzarelli

Primo r*icercatore Agenzia Spaziale Italiana*

Riassunto

Questo articolo descrive le tecnologie per la conservazione dell'acqua utilizzate sulla stazione spaziale internazionale (ISS) e le malattie cardiovascolari e renali causate dai voli nello spazio profondo. L'interazione tra specialità mediche e la scienza dei voli spaziali potrebbe contribuire alla implementazione di tecnologie verdi in sanità e, per converso, ad aumentare la sicurezza degli equipaggi che si avventurano oltre i confini protettivi della magnetosfera.

Parole chiave: volo umano nello spazio profondo, risparmio liquidi sulla ISS, malattie cardiovascolari nello spazio, malattia renale cosmica

Il contributo dei sistemi sanitari all'impronta carbonica globale è significativo e varia dal 10% negli Stati Uniti al 7% in Australia fino al 4% nel Regno Unito, dove sono state attuate specifiche politiche e strategie di contenimento delle emissioni. Il rapporto 2024 dell'"Osservatorio su Aziende e Sistema Sanitario Italiano" (OASI) evidenzia come l'adozione di pratiche di sostenibilità da parte dei sistemi sanitari sia spesso motivata dal risparmio sui costi e che gli ambiti più frequentemente interessati da tali pratiche riguardino la mobilità sostenibile, la riduzione del consumo energetico associata al crescente utilizzo di energie rinnovabili, lo smaltimento e riciclaggio dei rifiuti. Quasi del tutto assenti le strategie per il risparmio idrico implementate dalle aziende sanitarie delle varie regioni italiane. Eppure, la carenza idrica sta emergendo come elemento chiave dell'impronta climatica in Europa, così come lo è già la siccità in Africa. Oltre a essere raramente considerato degno di specifici interventi da parte delle autorità sanitarie, il risparmio idrico è anche ampiamente ignorato dalla popolazione generale. In media, ogni cittadino europeo consuma circa 60.000 litri di acqua all'anno, ovvero circa 10 volte la quantità di acqua consumata da un cittadino africano e 2-3 volte quella considerata adeguata dall'OMS (https://www.who.int/). Il problema è ancora più rilevante in dialisi, dove ciascun paziente utilizza annualmente per i trattamenti di emodialisi una quantità di acqua dello stesso ordine di grandezza di quella consumata per scopi domestici quali lavaggio, igiene personale, ecc. In altre parole, un paziente in emodialisi utilizza complessivamente ben oltre 100.000 litri di acqua all'anno. Se questo è lo scenario, allora può essere utile guardare oltre lo specifico campo della sanità ed esplorare le tecnologie di risparmio idrico implementate in una disciplina in cui il problema del risparmio dei liquidi è vitale, ovvero i voli spaziali. Infatti, le tecnologie spaziali rappresentano un ponte tra la scienza avanzata e le esigenze pratiche per la gestione della scarsità

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

d'acqua.

Inoltre, è atteso per gli anni a venire un incremento esponenziale nei voli spaziali commerciali e, al momento in cui scriviamo questo contributo, la missione Artemis 2 ha iniziato il suo volo per portare gli uomini intorno alla Luna con l'auspicabile obiettivo di allunarvi, sperabilmente il prossimo anno, 55 anni dall'ultima missione Apollo. La permanenza a lungo nello spazio profondo, cioè oltre gli effetti protettivi contro le radiazioni cosmiche del campo magnetico terrestre, pone significative sfide non solo tecnologiche ma anche di salute per gli astronauti. Pertanto, un ulteriore nostro obiettivo è quello di accennare alle principali patologie cliniche legate ai voli nello spazio profondo, ovvero le malattie cardiovascolari e renali. Per una trattazione esaustiva delle problematiche connesse alla cosiddetta medicina spaziale si rimanda al sito di *Nature "Space Omics and Medical Atlas"* (SOMA) che raccoglie articoli e analisi di dati da oltre 100 centri di ricerca ed agenzie spaziali internazionali [https://www.nature.com/collections/ebdbcahdgc].

Recupero dell'acqua nello spazio

Sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) i sistemi di controllo ambientale e di supporto vitale (ECLS) garantiscono le condizioni necessarie per preservare la salute degli astronauti durante una missione. Grazie a un sistema fisico-chimico, l'acqua potabile viene recuperata da urine e sudore degli astronauti nonché dalla condensa che si forma all'interno della ISS. Un pre-trattamento chimico dell'urina raccolta previene l'idrolisi dell'urea e la conseguente formazione di ammonio. L'urina così stabilizzata entra in un distillatore rotante, sotto vuoto e a temperatura così elevata che l'acqua evapora e può venir raccolta e combinata con l'umidità delle pareti della ISS a sua volta raccolta tramite sistemi di scambio di calore. Il processo prevede infine un passaggio su carbone organico e letti di resine a scambio ionico con successiva ossidazione catalitica per rimuovere i residui di carbone organico e ioni. Questo sofisticato sistema consente di recuperare il 98% dell'acqua. Per mantenere bassa la carica batterica, sin dalle missioni Apollo si utilizza lo iodio. Tuttavia, a causa dei timori che un eccesso di iodio possa influire sulla funzione tiroidea, è attualmente in fase di sperimentazione la stampa 3D di membrane polimeriche contenenti nanoparticelle d'argento con proprietà antibatteriche per il trattamento dell'acqua inquinata. Qualsivoglia tecnologia utilizzata, i sistemi sono altamente efficienti nel mantenere la carica batterica nell'acqua potabile al di sotto di 50 UFC/ml, valore decisamente inferiore rispetto ai limiti italiani di potabilità dell'acqua fissati a 100 UFC/ml. Questo perchè l'ambiente chiuso ed isolato della ISS, e ancor più di una navicella in volo verso Marte il cui viaggio di andata e ritorno dura ben oltre un anno, impone misure particolarmente stringenti di sterilità e sanitizzazione in quanto il diffondersi di una pur minima contaminazione potrebbe avere conseguenze catastrofiche. Oltre al sistema fisico-chimico prima accennato, sono allo studio sistemi di recupero dell'acqua basati su processi biologici. Si utilizzano microrganismi per decomporre i rifiuti prodotti sulla ISS, così come avviene sulla Terra negli impianti di trattamento delle acque reflue per decomporre i rifiuti generati dalle famiglie.

L'acqua presente sulla ISS o su un'astronave diretta su Marte va non solo riciclata ma anche risparmiata. Nelle colture idroponiche non si utilizza la terra e le radici delle piante sono immerse in soluzioni nutritive o substrati inerti. Le colture idroponiche consentono di risparmiare fino all'80-90% di acqua, sono già utilizzate nelle zone desertiche della Terra e saranno impiegate per la produzione di ortaggi durante i voli spaziali. Una peculiarità del volo spaziale è che, in assenza di gravità, non esiste un sopra o un sotto e pertanto le poche gocce d'acqua comunque necessarie non cadono e non garantiscono un'irrigazione uniforme. Dal 2021 la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) sta sperimentando sulla ISS come utilizzare specifiche geometrie dei tubi per garantire il corretto apporto di acqua e sostanze nutritive alle radici. Sempre in tema di nutrizione, è interessante ricordare come già nel 2019 nel segmento russo della ISS è stata prodotta con stampa 3D la prima bistecca spaziale a partire da poche cellule bovine in coltura.

La fattibilità di trasferire dalla ISS alla terra le tecnologie prima descritte resta da dimostrare. Il trasferimento tecnologico non è per l'oggi, ma l'esperienza ci insegna che molta tecnologia spaziale ha poi trovato applicazione sulla Terra in vari campi, incluso quello sanitario.

Malattie cardiovascolari

La bio-stampa 3D non serve solo per le bistecche, ma è destinata a svolgere un ruolo fondamentale nell'esplorazione spaziale poiché consente la produzione diretta di oggetti complessi e pronti all'uso nonché di componenti funzionali. La bio-stampa permette di utilizzare le cellule del paziente stesso, migliorando la compatibilità tra il ricevente e l'organo o il tessuto prodotto. Questa tecnologia è ampiamente utilizzata sulla Terra e offre prospettive significative per le missioni spaziali di lunga durata durante le quali gli astronauti potrebbero subire lesioni che richiedono un trattamento in loco. Oltre alla bio-

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

stampa 3D di ossa, pelle e vasi sanguigni, sono in corso esperimenti volti a imitare l'effetto della microgravità nel modulare la maturazione funzionale cardiaca e la rigenerazione del cuore. L'attenzione al sistema cardiovascolare deriva da studi pubblicati nel 2016 sul possibile aumento dell'incidenza di malattie cardiovascolari e mortalità osservata negli astronauti delle missioni Apollo dirette verso la Luna. Infatti, il viaggio oltre il protettivo campo magnetico terrestre espone gli astronauti agli effetti delle radiazioni provenienti dallo spazio profondo sull'endotelio vascolare. Queste osservazioni sono state successivamente confutate, ma una revisione sistematica del 2023 di 35 studi ha dimostrato come i rischi ambientali dello spazio profondo influenzano il sistema cardiovascolare. La microgravità causa atrofia cardiaca e intolleranza ortostatica, mentre le radiazioni spaziali possono potenzialmente accelerare l'aterosclerosi.

Malattia renale cosmica

Gli astronauti presentano tassi molto elevati di formazione di calcoli renali entro un anno dal ritorno dal volo. Tale aumento del rischio è stato storicamente attribuito all'aumentato riassorbimento osseo indotto dalla microgravità, con conseguente aumentata escrezione urinaria di Calcio e Fosforo. Fattore favorente è la marcata riduzione della diuresi e natriuresi osservata negli astronauti sin dai primi voli spaziali, cui si associa una disregolazione della vasopressina. La microgravità non solo induce demineralizzazione ossea ma può anche avere un effetto favorente la cristallizzazione e nucleazione dei calcoli renali in via di formazione. Una recente pubblicazione ha analizzato in dettaglio gli effetti dei voli spaziali sui reni. Si tratta di un progetto di ricerca interdisciplinare, traslazionale e transnazionale che coinvolge 68 università, centri di ricerca e agenzie spaziali in tutto il mondo. I ricercatori hanno utilizzato tecniche biomolecolari (epigenomiche, trascrittomiche, proteomiche, epiproteomiche, metabolomiche, metagenomiche), di chimica clinica (elettroliti, endocrinologia, biochimica) e morfometriche (istologia, imaging 3D, miRNA-ISH). I campioni e i *set* di dati disponibili provenivano da 66 fra astronauti impegnati in voli spaziali o da animali in missioni spaziali reali o simulate. Gli effetti dello spazio profondo sulla funzione renale rivelano un alterato trasporto tubulare di vari ioni, inclusi Ca, P, Mg. Pertanto, l'aumento del rischio di nefrolitiasi negli astronauti è in parte un fenomeno renale primario piuttosto che esclusivamente una conseguenza secondaria alla perdita ossea. Oltre al profilo pro-litogeno, l'analisi quantitativa dei tubuli contorti distali dei topi ha rivelato che il volo spaziale comporta un loro rimodellamento con riduzione di densità e ipertrofia. Tale rimodellamento strutturale e funzionale renale è verosimilmente conseguenza dello *shift* corporeo dei liquidi verso la testa a causa della microgravità (quando collegata dalla ISS, Samanta Cristoforetti esibiva un bel faccione gonfio, oltre a capelli scombinati), che agisce sinergisticamente con gli effetti negativi delle radiazioni cosmiche. Queste ultime, infine, causano disfunzione mitocondriale ed alterato *turn-over* proteico con progressivo e irreversibile danno tubulare e vascolare. Questo studio è rilevante perché, avvalendosi di metodologie sofisticate, fa luce per la prima volta sugli effetti sui reni dei voli spaziali a lungo termine nello spazio profondo.

Conclusioni

In questo articolo abbiamo brevemente passato in rassegna le tecnologie impiegate per la conservazione dell'acqua nei voli spaziali di lunga durata. Ci siamo poi concentrati sugli effetti clinici dei voli nello spazio profondo, in particolare sulle malattie cardiovascolari e sulla cosiddetta malattia renale cosmica, una patologia emergente. L'interazione tra specialità mediche e la scienza dei voli spaziali potrebbe contribuire alla implementazione di tecnologie verdi in sanità e ad aumentare la sicurezza degli equipaggi che si avventurano oltre i confini protettivi della magnetosfera.

Bibliografia da richiedere a fpizzarelli@yahoo.com

CATEGORY

1. Scienza e professione

Categoria

1. Scienza e professione

Data di creazione
06/05/2026
Autore
redazione-toscana-medica
Campi meta

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

Nome E Cognome Autore 1 : Francesco pizzarelli
Nome E Cognome Autore 2 : Marco Pizzarelli
Views : 637

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze