هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

پروبیوتیک ها در فضا

مریم صلواتی فر [۱*]، نیلوفر زاهدیان [۲]

۱*- استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، Salavati@ari.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق

چکیده

سفرهای فضایی طولانی مدت دارای عوارض متعددی بر بدن فضانورد می باشند که ضعف سیستم ایمنی، تحلیل ماهیچه و استخوان و نارسایی قلبی عروقی مشخص ترین آنهاست. با توجه به اهداف آینده بشر در کشف و تسخیر فضای خارج از جو، حفظ سلامتی خدمه برای ماموریت‌های فضایی بلندمدت حائز اهمیت به سزایی می باشد. پروبیوتیک ها ارگانیسم های زنده ای هستند که با تعدیل فلور میکروبی روده، اثرات مفیدی را بر سلامت میزبان اعمال می کنند. این ارگانیسم ها عموماً از منابع انسانی بوده و غیر بیماری زا محسوب می شوند. پروبیوتیک هایی که بیش از همه در زمینه های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته اند، باکتریهای تولید کننده اسید لاکتیک شامل گونه های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریا می باشند. برخی از اثرات این ارگانیسم های فراسودمند شامل ارتقاء سیستم ایمنی، به تعویق انداختن کاهش تراکم استخوان و حفظ سلامت گوارش و قلب و عروق است. مکانیسم اثر پروبیوتیک ها به طور کامل شناخته شده نیست اما مکانیسم هایی برای توجیه اثرات پیشگیری کننده و درمانی آنها در بیماریهای انسان پیشنهاد شده است که از آن جمله می توان به تولید ترکیبات مهار کننده باکتریها، تعدیل pH روده، مسدود نمودن جایگاه های اتصال باکتریها، رقابت برای جذب مواد غذایی، تاثیرات آنتی اکسیدانی و تقویت سیستم ایمنی اشاره نمود. این مقاله به بررسی اجمالی کاربرد پروبیوتیک ها در مدیریت سلامت مسافران فضایی خواهد پرداخت.

واژه های کلیدی: بی وزنی، پروبیوتیک، فلور میکروبی، لاکتوباسیل، ماموریت فضایی.

مقدمه

با گذشت بیش از ۶۰ سال از اولین ماموریت فضایی انسان به فضای خارج از جو ثابت شده است که رفتن به فضا و قرارگیری طولانی مدت در آن به دلیل شرایط خاص و منحصر به فرد، عوارض متعددی چه در طول سفر و چه پس از بازگشت بر فیزیولوژی بدن انسان ایجاد می نماید. در حقیقت پرواز فضایی شرایط خاصی را ایجاد می کند که مسافران فضایی به طور مداوم یا متناوب در معرض چندین عامل استرس زا قرار می گیرند. این استرس های چندگانه شامل تغییرات نیروی جاذبه، انزوا در محیط محدود، بر هم خوردن ریتم شب و روز، اختلالات خواب، تشعشعات کیهانی و تغییرات در الگوی تغذیه افراد می باشد. چنین استرس هایی تاثیرات کاملاً مشهودی بر سلامتی داشته و اختلالات خاصی را در عملکرد فیزیولوژیکی باعث می گردد. شواهد نشان می دهند که فضانوردان در طول سفر، از مشکلات زیادی از جمله ضعف سیستم ایمنی، درد استخوان و عضله و نارسایی در سیستم قلبی و عروقی رنج می برند و خطر ابتلاء به برخی عفونت ها و یا سرطان ها حتی پس از بازگشت به زمین در بدنشان افزایش می یابد. از آن جایی که کشف و تسخیر فضای خارج از جو یکی از اهداف بشر می باشد، اندیشیدن تمهیداتی جهت حفظ سلامتی فضانوردان برای ماموریت‌های بلندمدت در آینده مانند سفر به مریخ و فراتر از آن حائز اهمیت به سزایی است [۱].

در مدار زمین و در حین تمرینات قبل از سفر، فضانوردان در یک محیط استرس زا قرار می گیرند که در آن باید از نظر فیزیکی و روانی با شرایط نامطلوب متعدد مانند رژیم های غذایی محدود، کمبود خواب، انزوا و شرایط محیطی دشوار سازگار شوند. میکروگرانش، محیطی بسیار متفاوت از آنچه که بدن انسان برای آن ساخته شده است ایجاد می کند. با کم شدن گرانش، مهره های پشتی بدن از یکدیگر فاصله گرفته و ارتفاع بدن افزایش می یابد [۲]. افزایش دفع کلسیم و فسفر از استخوان منجر به از بین رفتن سریع استخوان گشته که در ماموریت های طولانی می تواند منجر به شکستگی استخوان شده و سنگ کلیه نیز ایجاد می

شود [۳]. با دور شدن فضاپیما از زمین، اضطراب افزایش می‌یابد و کیفیت غذا و بهداشت ضعیف، این تأثیر را تشدید می‌کند. با تضعیف سیستم ایمنی، برخی عفونت ها رخ می دهند [۴]، ظهور ویروس های نهفته، نگران کننده می شوند [۵-۷] و علائم آلرژی می تواند به دلیل تغییرات ایمنی رخ دهد. در حالی که داروهای ضد ویروسی و داروهای مختلف در لوازم اولیه سفر وجود دارند اما ماندگاری مواد فعال در آن شرایط خاص کوتاه است [۸]. علاوه بر این به دلایل متعددی از جمله حذف نیروی جاذبه زمین و متعاقب آن جابجایی مایعات بدن از بخش های تحتانی به اندام های فوقانی، کاهش حجم خون و کاهش فعالیت سیستم قلبی عروقی و همچنین تغییرات رخ داده در سلول های پوششی عروق به دلیل حساسیت آن ها به بی وزنی، در عملکرد سیستم قلبی عروقی اختلال رخ می دهد [۹-۱۱]. تخمین زده می شود که سفرهای فضانوردان به مریخ ۲ تا ۳ سال طول بکشد و بروز مشکلات متعدد در سلامتی آن ها رنج آور خواهد شد. بنابراین اولویت موفقیت اکتشافات فضایی طولانی مدت، توانایی به حداقل رساندن شروع بیماری و عوارض مرتبط با آن است [۱۲].

میکروبیوم انسانی و سفرهای فضایی

دستگاه گوارش انسان همانند برخی دیگر از نقاط بدن، محل استقرار حدود ۸۰۰ گونه باکتری بیماری زا و غیر بیماری زا می باشد و تعادل یا عدم تعادل میان این دو گروه، منجر به حفظ سلامت و یا ایجاد بیماری خواهد شد. استقرار میکروب ها در دستگاه گوارش، از بدو تولد آغاز شده و نوع و میزان فلور میکروبی (باکتری های همزیست) بدن هر فرد بسته به شرایط وی از جمله رژیم غذایی شکل گرفته و تغییر می کند [۱۳]. به دلیل استقرار باکتری ها و اثرات بیولوژیک آن ها، دستگاه گوارش یکی از مهمترین ارگان های بدن در ارتباط با سیستم ایمنی بوده و باکتری های مذکور، عملکردهای ایمونولوژیک و متابولیکی را دارند. نه تنها باکتری های همزیست دائمی ساکن در روده، بلکه سایر باکتری های وارد شده به آن از طریق آب و مواد غذایی نیز به دلیل تعامل با سلول های پوششی روده و بافت های لنفاوی سیستم گوارشی، در عملکرد دستگاه ایمنی میزبان تاثیر گذارند [۱۴].

اصطلاح "میکروبیوم انسانی" اولین بار در سال ۲۰۰۱ توسط لدربرگ ارائه شد که مفهوم آن، جامعه اکولوژیکی از میکروارگانیسم های همزیست و بیماری زا است که فضای بدن ما را به اشتراک گذارده اند [۱۵]. این میکروارگانیسم‌ها از باکتری‌ها، آرکی ها، ویروس‌ها و یوکاریوت‌ها تشکیل می‌شوند، اما اکثریت (۹۹٪) میکروبیوم انسان را باکتری‌ها تشکیل می‌دهند [۱۶]. این جمعیت باکتریایی در افزایش سلامتی بدن بسیار مهم هستند زیرا ویتامین‌هایی را که بدن میزبان نمی‌تواند آنها را بسازد سنتز می‌کنند و انرژی را از ترکیبات غیرقابل هضم دریافت کرده و یک محیط رقابتی برای جلوگیری از استقرار پاتوژن ها ایجاد می کنند. همچنین بلوغ و تنظیم سیستم ایمنی را افزایش داده، به رشد عروق و رگ‌زایی کمک می کنند و سدهای اپیتلیال را یکپارچه می نمایند. تمام این اعمال را میکروبیوتای ما برای حفظ سلامتی بدن انجام می دهند. میکروبیوتای انسان سالم شامل مجموعه ای از موارد زیر می باشد: همزیست ها[1] که باکتری هایی هستند که به طور فعال باعث ارتقاء سلامت میزبان می شوند، همسفره ها[2] که برای میزبان نه سودمند و نه مضر هستند و پاتوژن ها[3] که در صورت تغییر شرایط میزبان، می توانند باعث ایجاد بیماری شوند. هنگامی که عدم تعادل میکروبی به صورت کاهش همزیست ها و یا رشد بیش از حد پاتوژن ها اتفاق افتد، شکست در هموستاز رخ داده و نهایتاً بیماری ایجاد می شود [۱۲].

مشاهده شده است که پروفایل باکتریایی روده، بینی و دهان فضانوردان در طول ماموریت های فضایی کوتاه مدت و بلندمدت تغییر می کند. این تغییرات با کاهش نسبی میکروارگانیسم‌های بالقوه مفید از جنس های بیفیدوباکتریوم[4] و لاکتوباسیلوس[5] و افزایش پاتوژن‌های فرصت طلب مانند استافیلوکوکوس اورئوس[6] اشرشیاکلی[7] سودوموناس آئروژینوزا[8] فوزوباکتریوم نوکلئاتوم[9] و گونه های کلستریدیوم[10] همراه است [۱۲]. هنوز مشخص نشده است که چه جنبه هایی از سفرهای فضایی باعث این تغییرات می‌شوند اما مطالعات حیوانی تحت محیط بی وزنی شبیه سازی شده نیز نتایج مشابهی را نشان داده اند [۱۷]. رژیم غذایی همچنین می تواند یک عامل مداخله گر باشد زیرا پروفایل میکروبی موجود در رژیم غذایی اعضاء خدمه زمینی ایزوله شده، با همان رژیم غذایی مشابه افراد موجود در فضا، متفاوت است [۱۸]. این می‌تواند نتیجه استریل شدن مواد غذایی باشد که باکتری های مفید آن را از بین می برد که در این صورت می توان این باکتری ها را به عنوان مکمل رژیم غذایی به منظور جبران فقدان آن ها برای فضانوردان در نظر گرفت [۱۲]. همچنین لازم به ذکر است که ارتباط محکمی بین نوع و تعداد میکروارگانیسمهای موجود در روده با سلامت هیستولوژیک بافت قلبی وجود دارد و مطالعات ثابت نموده است که عدم تعادل در میکروفلور طبیعی بدن، با اختلال در سطح سیتوکین های[11] التهابی و ایسکمی[12] قلبی ارتباط مستقیم دارد [۱۹].

[1] Symbiont
[2] Commensal
[3] Pathobiont
[4] Bifidobacterium
[5] Lactobacillus
[6] Staphylococcus aureus
[7] Escherichia coli
[8] Pseudomonas aeruginosa
[9] Fusobacterium nucleatum
[10] Clostridium spp
[11] Cytokine
[12] Ischemia

پروبیوتیک ها چیستند؟

پروبیوتیک[1] به معنی برای زندگی، طبق تعریف سازمان های بهداشت جهانی و فائو، میکروارگانیسم های زنده و مشخصی هستند که در مقادیر کافی برای سلامتی انسان یا حیوان مفید می باشند [۱]. این میکروارگانیسم های فراسودمند با اثر بر فلور میکروبی بدن باعث ایجاد اثرات مفید بر سلامتی میزبان می شوند. ایـن باکتری ها که یا در ترکیب مواد غذایی بوده و یا به صورت مکمل وارد دستگاه گوارش می شوند، پس از ورود به بدن، در بخش های انتهایی روده کوچک و در روده بزرگ مستقر شده و خواص سومند خود را اعمال می نمایند [۲۰]. اخیرا تحقیقات متعددی در ارتباط با عملکرد پروبیوتیک ها در بدن انجام شده است. اگرچه نتایج مثبت زیادی به دنبال مصرف آن ها مشاهده شده است اما هنوز محققین به دنبال یک پاسخ مشخص در مورد عملکرد پروبیوتیک ها در شرایط مختلف هستند. با این وجود پروبیوتیک ها می توانند در درمان بسیاری از بیماری های موثر باشند که البته این اثربخشی از فردی به فرد دیگر متفاوت است و به نوع پروبیوتیک و شرایط بدن هر فرد بستگی دارد. بعضی از بیماری هایی که به کمک پروبیوتیک ها می توان به درمان آن ها کمک کرد عبارتند از برخی انواع اسهال، یبوست، بیماری التهابی روده، سندروم روده تحریک پذیر، عدم تحمل لاکتوز، عفونت دستگاه تنفسی فوقانی، برخی عفونت های قارچی، عفونت های دستگاه ادراری، بیماری های لثه، اگزما و عفونت خون [۲۱].

تجویز برخی از سویه های پروبیوتیک عملکرد ایمنی را تعدیل می کند و به منظور ایجاد تعادل مناسب، به میکروبیوتای روده کمک می کند و میزان باکتری های مفید آن را افزایش داده باعث کاهش باکتری های مضر می گردد. البته اکثر پروبیوتیک هـا متعلـق بـه باکتری های اصـلی فلـور میکروبـی روده انسـان بوده و در آنجا زندگی همسفرگی بی ضرری دارنـد که نقـش محافظـت کنندگی در برابر بیمـاری هـای مختلـف از خـود نشـان می دهند. نگهداری و حفظ این فلور اکولوژیکی، در پیشگیری و درمان برخی از انواع بیماری ها اهمیت حیاتی دارد [۲۲]. گزارش شده است که این میکروارگانیسم های فراسودمند عاری از هر گونه خطری بوده و در جمعیت های مختلف به ویژه افراد در معرض خطر، موثر واقع شده اند و به عبارتی ابزاری مؤثر برای غلبه بر میکروارگانیسم های بالقوه بیماری زا شامل باکتری ها، ویروس ها و قارچ ها می باشند. برخی منابع این عوامل سودمند را به عنوان درمانگرهای طبیعی و بیولوژیک برشمرده اند.

پروبیوتیک ها ویژگی هایی دارند که آن ها را از سایر عوامل درمانی متمایز می نماید. زنده بودن و تاثیر در محیط زنده، سهولت تهیه و تکثیر و ارزان بودن آن ها، کاربرد ساده، قابلیت زیست و بقاء در خارج از محیط بدن موجود زنده، عدم پاسخ سیستم ایمنی بدن علیه آن ها، تکثیر سریع در بدن میزبان و در نهایت بدون خطر بودن و نداشتن اثرات منفی از ویژگی های برجسته این میکروارگانیسم ها می باشد [۲۰].

در حقیقت پروبیوتیک ها به عنوان موجوداتی معرفی شده اند که در برقراری تعادل میکروبی روده مؤثر می باشند. لازم به ذکر است که فرآورده های پروبیوتیکی باید در زمان مصرف، حاوی تعداد زیاد و مشخصی از سلول های زنده بـوده، مدت زنده مانی مناسبی داشته و به علاوه سمی و بیمـاری زا نباشند. لاکتوباسیلوس ها و بیفیدوباکتریا دو جنس باکتریایی هستند که به عنوان پروبیوتیک های شاخص، بیش از همه در زمینه های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته اند و به علت ویژگیهای بهبود دهنده سلامت و عدم ایجاد عارضه در میزبان ها، به عنوان پروبیوتیکهای برتر معرفی شده اند. برخی از گونه های باکتریایی متعلق به جنس استرپتوکوکوس[2] همچنین برخی مخمرها و قارچها نیز اثرات سودمندی بر سلامت دارند [۲۳]. گونه های مختلفی از پروبیوتیک ها به گرما ، اکسیژن ، نور و رطوبت حساس هستند و اگر در این شرایط نامناسب قرار بگیرند از بین می روند. بنابراین لازم است که آن ها را در یخچال یا مکان های خاصی نگهداری نمود [۲۴].

پروبیوتیک ها بر خلاف داروهای سنتتیک که اثر خود را از یک روش اعمال می کنند، مکانیسم های متنوع و چند جانبه ای داشته که اثر بخشی و تداوم تاثیر آن ها را در میزبان چند برابر می نماید. به طور خلاصه مهمترین این مکانیسم ها به صورت ذیل می باشند: تولید ترکیبات ضد میکروبی مانند پراکسید هیدروژن، باکتریوسین ها[3] (ممانعت کننده های رشد باکتری های رقیب) و متابولیت های آلی غیر باکتریوسینی، رقابت با میکروارگانیسم های بیماری زا بر سر اشغال گیرنده های سلولی میزبان و بر سر منابع غذایی موجود، توانایی تغییر در ساختار گیرنده های ویژه عوامل بیماریزا در سطح سلول های میزبان، اسیدی نمودن محیط، افزایش پاسخ های ایمنی، مشارکت در جذب مواد غذایی، ساخت ویتامین های حیاتی، شکستن لاکتوز و کمک به تحمل آن در میزبان، خواص ضد سرطانی و کاهش کلسترول بد خون [۲۵].

عملکرد پروبیوتیک ها در فضا

سفرهای فضایی و قرارگیری طولانی مدت در فضای خارج از جو، دارای عوارض متعددی بر بدن می باشد. شواهد نشان می دهند که فضانوردان در طول سفر از مشکلات زیادی از جمله ضعف سیستم ایمنی و درد استخوان و عضله و حتی ناراحتی های قلبی و عروقی رنج می برند. همچنین تغییرات رشدی و بیماریزایی میکروب ها و تغییر الگوی حساسیت آنتی بیوتیکی برای مهار رشد میکروبی در زمان ماموریت فضایی تامل برانگیز می باشد [۲۶]. بنابراین، کشف چگونگی حفظ سلامتی در فضا برای ماموریت‌های فضایی بلند مدت در آینده مانند

[1] Probiotic
[2] Streptococcus
[3] Bacteriocin

سفر به مریخ و فراتر از آن بسیار مهم است. همانگونه که ذکر گردید برقراری تعادل در فعالیتهای متابولیکی، عملکرد اصلی فلور میکروبی روده است که به تولید و حفظ انرژی مواد غذایی قابل جذب منجر می شود و مهمترین اثر پروبیوتیک ها بر میزبان، افزایش عملکرد ایمنی و حفاظت میزبان در برابر هجوم عوامل مهاجم بیگانه می باشد [۲۲]. لازم به ذکر است که شرایط موجود در فضا که مشخصات میکروبیوم را تحت تاثیر قرار می‌دهد، مانند رژیم غذایی، هورمون‌ها، ریزگرانش یا تشعشعات می‌تواند تأثیر متفاوتی بر فضانوردان داشته باشد [۱۲].

پروبیوتیک ها از طریق تولیدات خود نظیر اجزای سلولی، متابولیت ها و DNA، بر عملکرد سیستم ایمنی میزبان تاثیر می گذارند. به عبارت دیگر اجزای پروبیوتیک ها به خصوص DNA و پپتیدوگلیکان می توانند پاسخ هایی در دستگاه ایمنی میزبان به راه اندازند. متابولیت های ناشی از پروبیوتیک ها توسط گیرنده هایی حساس در برخی از سلول های ایمنی میزبان شناسایی شده و جهت تنظیم عملکرد ایمنی، آبشاری در سلول به راه می اندازند که هم سلول های پوششی روده و هم سلول های سیستم ایمنی اطراف دستگاه گوارش عوامل هدف این سلول ها می باشند. پروبیوتیک ها یا مستقیماً به غشای سلول های روده چسبیده و آبشاری در سلول به راه می اندازند و یا این که موادی محلول آزاد نموده که مستقیما سلول ایمنی را درگیر می کنند [۲۷]. نظر به تضعیف عملکرد سیستم ایمنی انسان در فضا، چنین عملکردهایی در بهبود کیفیت سفرهای فضایی نیاز به تحقیق و تعمق دارد.

یکی از موانع و نگرانی های اصلی ماموریت های فضایی طولانی مدت، تهدید از دست دادن شدید استخوان در فضانوردان می باشد. در شرایط بی وزنی حادث شده در فضا، فضانوردان به طور متوسط هر ماه ۱ الی ۱/۵ درصد از تراکم استخوان خود را از دست می دهند. این مشکل در پروازهای کوتاه مدت بسیار کمتر می باشد. درمان های دارویی مانند بیس فسفونات ها[1]می توانند این مشکل را در حین پرواز تا حدودی کاهش دهند اما ممکن است با ریکاوری آهسته و ناقص پس از بازگشت به زمین، تداخل ایجاد نمایند [۲۸]. بنابراین این مشکل، خطری تهدید کننده و حل نشده برای مسافران فضایی می باشد . استخوان ها مسئول تحمل وزن بدن بوده و نیروی ایجاد شده توسط عضلات را به منظور تحمل نیروهای مکانیکی، منتقل می کنند. به علاوه استخوان ها محل خون سازی بوده و همچنین به عنوان مخزنی برای ترکیبات معدنی به ویژه کلسیم عمل نموده و نقش فعالی را در تعادل اسید–باز دارند. از آنجائیکه بسیاری از عملکردهای مذکور از جمله کاهش بار مکانیکی، برهم خوردن تعادل کلسیم، کاهش خونسازی و متابولیسم تغییر یافته در شرایط میکروگراویتی تحت الشعاع قرار می گیرند، سهم نسبی فرایندهای مختلف در از دست دادن استخوان نامشخص می باشد [۲۹]. تمرینات ورزشی به مدت حداقل ۱۵ ساعت در هفته در زمان قرارگیری در مدار، می تواند به حفظ سلامت استخوان خدمه تا حدودی کمک نماید اما کارایی آن به تنهایی کافی نمی باشد. در مطالعه ای که توسط Britton و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام پذیرفته است مشخص گردیده است که یکی از سویه های باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس به نام روتری[2] با ترشح فاکتورهای تعدیل کننده ایمنی، به طور قابل توجهی در موش‌هایی که به دلیل کاهش استروژن ناشی از برداشتن تخمدان، یائسه شده بودند در برابر از دست رفتن تراکم استخوان محافظت نموده است [۳۰]. با توجه به کارآمدی ذکر شده در مورد پروبیوتیک ها در مقوله به تعویق انداختن پوکی استخوان، احتمال دارد بتوان در این زمینه جهت کاهش عوارض سفرهای طولانی مدت فضایی بر خدمه پرواز تحقیق و بررسی نمود. با این حال، ممکن است هورمون‌ها در تأثیرگذاری پروبیوتیک‌ها در بیماری پوکی استخوان نقش داشته باشند.

همانگونه که ذکر گردید سلامت هیستولوژیک بافت قلب و عروق، با نوع و تعداد میکروارگانیسمهای موجود در روده ارتباط داشته و عدم تعادل در میکروفلور طبیعی بدن، با نارسایی های قلبی ارتباط مستقیم دارد. باکتری های روده قادر به تولید محصولات متابولیک مشتق شده از رژیم غذایی هستند که می توانند بر وضعیت قلبی عروقی میزبان تأثیر بگذارند. بنابراین پروبیوتیک ها با برقراری این تعادل، در کاهش این گونه نارسایی ها تاثیر گذارند. علاوه بر این ثابت شده است که برخی از گونه های باکتری های پروبیوتیک از طریق فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد التهابی و همچنین کاهش سطح کلسترول سرمی، در کاهش بروز بیماری های قلبی عروقی موثر بوده اند. با این وجود تعیین طول مدت مصرف پروبیوتیک ها و دوز بهینه آن ها در ایجاد اثرات مرتبط، تاثیر گذارند [۱۹]. بنابراین با بهره جستن از قابلیت های این گونه باکتری ها می توان در کاهش اثرات منفی مامویت های فضایی بر بدن فضانوردان گامی برداشت.

نتیجه گیری

همزمان با افزایش توجهات به نقش پروبیوتیک ها در تعدیل سلامتی انسان در زمین، مطالعاتی نیز در زمینه بررسی تأثیر این باکتری ها در حفظ سلامت مسافران فضایی در حین پرواز و پس از بازگشت به زمین در حال انجام می باشد چرا که شرایط پر تنش فضا، بر پروفایل میکروبیوتا تاثیر گذار می باشد که نوع و تعداد میکروبیوتا با سلامتی انسان ها، ارتباط مستقیم دارد. گنجاندن پروبیوتیک ها در رژیم غذایی فضانوردان، نقش مفیدی در مدیریت اضطراب، تقویت ایمنی، پیشبرد پاکسازی ویروسی پس از ظهور مجدد ویروس های خفته و حفظ سلامت گوارش و قلب و عروق دارد. اما به دلیل شرایط خاص نگهداری پروبیوتیک ها و نیاز به نگهداری در یخچال، کاربرد آن ها در فضای خارج از جو در ماموریت های طولانی مدت، چالش برانگیز خواهد بود.

[1] Bisphosphonates
[2] Lactobacillus reuteri

مطالعات آینده به منظور ارسال پروبیوتیک ها در اشکالی با طول عمر بالاتر و ماندگاری مناسب تر در شرایط خاص فضا، ضروری می باشد. به علاوه لازم است دوز مناسب برای حصول به حداکثر فواید سلامتی در طول ماموریت و پس از ورود مجدد به زمین نیز تعیین گشته و با دوز زمینی آن مقایسه گردد. چنین رویکردهایی مقدمه ای برای سفر های طولانی تر هستند که ارزش بررسی بیشتر در ایستگاه فضایی بین المللی را دارند.

منابع

[1] Sakai, T., et al., Probiotics into outer space: feasibility assessments of encapsulated freeze-dried probiotics during ۱month's storage on the International Space Station. Scientific Reports, ۲۰۱۸. ۸(۱): p. .۱۰٦۸۷

[2] Marshburn, T.H., et al., New heights in ultrasound: first report of spinal ultrasound from the international space station. J Emerg Med, ۲۰۱٤. ٤٦(۱): p. .۷۰-٦۱

[3] Jones, J.A., et al., Genitourinary issues during spaceflight: a review. Int J Impot Res, ۲۰۰٥. ۱۷ Suppl ۱: p. S.۷-٦٤

[٤] Taylor ,P.W. and A.P. Sommer, Towards rational treatment of bacterial infections during extended space travel. Int J Antimicrob Agents, ۲۰۰٥. ۲٦(۳): p. .۷-۱۸۳

[5] Mehta, S.K., et al., Reactivation and shedding of cytomegalovirus in astronauts during spaceflight. J Infect Dis, ۲۰۰۰. ۱۸۲(٦): p. .٤-۱۷٦۱

[6] Pierson, D.L., et al., Epstein-Barr virus shedding by astronauts during space flight. Brain Behav Immun, ۲۰۰٥. ۱۹(۳): p. .٤۲-۲۳٥

[7] Mehta, S.K., et al., Stress-induced subclinical reactivation of varicella zoster virus in astronauts. J Med Virol, ۲۰۰٤. ۷۲(۱): p. .۹-۱۷٤

[8] Du, B., et al., Evaluation of physical and chemical changes in pharmaceuticals flown on space missions. Aaps j, ۲۰۱۱. ۱۳(۲): p. .۳۰۸-۲۹۹

[9] Stuempfle, K.J. and D.G. Drury, The physiological consequences of bed rest. Journal of exercise physiology, ۲۰۰۷. .(۳)۱۰

[10] Vernikos, J. and V.S. Schneider, Space, gravity and the physiology of aging: parallel or convergent disciplines? A mini-review. Gerontology, ۲۰۱۰. ٥٦(۲): p. .۱٦٦-۱٥۷

[11] Morbidelli, L. ,et al., Simulated hypogravity impairs the angiogenic response of endothelium by up-regulating apoptotic signals. Biochemical and biophysical research communications, ۲۰۰٥. ۳۳٤(۲): p. .٤۹۹-٤۹۱

[12] Urbaniak, C. and G. Reid, The potential influence of the microbiota and probiotics on women during long spaceflights. Women's Health, ۲۰۱٦. ۱۲(۲): p. .۱۹۸-۱۹۳

[13] Laparra, J.M. and Y. Sanz, Interactions of gut microbiota with functional food components and nutraceuticals. Pharmacol Res, ۲۰۱۰. ٦۱(۳): p. .۲٥-۲۱۹.

[14] Hopkins, M.J. and G.T. Macfarlane, *Changes in predominant bacterial populations in human faeces with age and with Clostridium difficile infection.* J Med Microbiol, ۲۰۰۲. ٥۱(٥): p. .۴٥۴-۴۴۸

[15] Lederberg, J. and A.T. McCray, *Ome SweetOmics--A genealogical treasury of words.* The scientist, ۲۰۰۱. ۱٥(۷): p. .۸-۸

[16] Qin, J., et al., *A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing.* nature, ۲۰۱۰. ۴۶۴(۷۲۸٥): p. .۶٥-٥۹

[17] Ritchie, L.E., et al., *Space environmental factor impacts upon murine colon microbiota and mucosal homeostasis.* PloS one, ۲۰۱٥. ۱۰(۶): p. e.۰۱۲٥۷۹۲

[18] Mardanov, A., et al., *Metagenomic analysis of the dynamic changes in the gut microbiome of the participants of the MARS- ٥۰۰experiment, simulating long term space flight.* Acta Naturae (англоязычная версия), ۲۰۱۳. ٥(۳(۱۸)): p. .۱۲٥-۱۱۶

[19] Oniszczuk, A., et al., Role of Gut Microbiota, Probiotics and Prebiotics in the Cardiovascular Diseases. Molecules, ۲۰۲۱. ۲۶(۴): p. .۱۱۷۲

[20] Boirivant, M. and W. Strober, The mechanism of action of probiotics. Curr Opin Gastroenterol, ۲۰۰۷. ۲۳(۶): p. .۹۲-۶۷۹

[21] Islam, S.U., Clinical uses of probiotics. Medicine, ۲۰۱۶. .(٥)۹٥

[22] Khalesi, S., et al., A review of probiotic supplementation in healthy adults: helpful or hype? Eur J Clin Nutr, ۲۰۱۹. ۷۳(۱): p. .۳۷-۲۴

[23] Kopp-Hoolihan, L., Prophylactic and therapeutic uses of probiotics: a review. J Am Diet Assoc, ۲۰۰۱. ۱۰۱(۲): p. ۳۸-۲۲۹; quiz .۴۱-۲۳۹

[24] Adeoye, B., M. Obayemi, and S. Akinola, Isolation, characterization and storage of probiotics associated with the fermentation of Bambara groundnut bran. J Nutr Health Food Eng, ۲۰۱۸. ۸(۶): p. .۴۶٥-۴۶۰

[25] RANJBAR, REZA. "How do probiotic microorganisms influence man's general good health?." (2004): 38-46.

[26] Salavatifar, M., An Overview of Changes in Immune System in Space and Microgravity *Conditions.* Journal of Technology in Aerospace Engineering, ۲۰۱۸. ۱(۳): p. .۱۰-۱

[27] Oelschlaeger, T.A., *Mechanisms of probiotic actions–a review.* International journal of medical microbiology, ۲۰۱۰. ۳۰۰(۱): p. .۶۲-٥۷

[28] Orwoll, E.S., et al., *Skeletal health in long-duration astronauts: nature, assessment, and management recommendations from the NASA bone summit.* Journal of bone and mineral research, ۲۰۱۳. ۲۸(۶): p. .۱۲٥٥-۱۲۴۳

[29] Stavnichuk, M., et al., *A systematic review and meta-analysis of bone loss in space travelers.* npj Microgravity, ۲۰۲۰. ۶(۱): p. ۱-۹.

[30] Britton, R.A., et al., *Probiotic L. reuteri treatment prevents bone loss in a menopausal ovariectomized mouse model.* Journal of cellular physiology, ۲۰۱۴. ۲۲۹(۱۱): p. ۱۸۳۰-۱۸۲۲.