

فضانوردان و غذای فضایی

تأمین انرژی فضانوردان در حین انجام فعالیت‌های فضایی، اهمیت بسیار زیادی در اکتشافات فضایی دارد. در برخی مواقع مواد غذایی علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز، منجر به کاهش عوارض ناشی از سفر به فضا نیز می‌گردند. غذاهای فضایی، ترکیبات غذایی هستند که به طور خاص برای مصرف فضانوردان در خارج جو ایجاد شده‌اند. این غذاها دارای عناصر و ترکیب مخصوص هستند که تغذیه متعادل برای افرادی را که در فضا کار می‌کنند فراهم می‌کند و ذخیره، آماده کردن و مصرف آن در محیط بی‌وزنی داخل سفینه راحت و ایمن است. علاوه بر آن، غذاهایی که به فضا فرستاده می‌شوند می‌باید سبک، فشرده، خوشمزه و دارای مواد مغذی باشند. همچنین می‌باید برای مدت طولانی بدون یخچال نگهداری شوند. منوهای غذایی، کالری به میزان ۲۵۰۰ و یا بیشتر را به ازای هر روز برای فضانوردان تأمین می‌کند. در مطالعه پیش رو ضمن پرداختن به مشخصات غذاهای فضایی و همچنین بررسی فاکتورهای پراهمیتی که در غذای فضانوردان می‌باید مورد توجه قرار گیرد، اشاره مختصری نیز به روند فناوری تأمین غذای فضانوردان شده است. همچنین تأثیر شرایط موجود در فضا و بی‌وزنی بر روی بدن فضانوردان و راه‌حل‌های مطرح شده برای مقابله با آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: غذاهای فضایی، بسته‌بندی غذا، فضانورد، بی‌وزنی

فرزانه عظیمی*، کارشناس ارشد، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
زهرا حاج‌ابراهیمی، استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
کوروس نکوفار، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس

*نویسنده مخاطب، آدرس تهران، کدپستی:

۱۴۶۵۷۷۴۱۱۱

f.azimi@modares.ac.ir

Astronauts and Space Food

Supplying the energy for the astronaut's activity is an important factor in space explorations. Space food also reduces the harmful effects of space besides supplying energy. Space food entails a variety of food products, specially created for consumption by astronauts in the outer space. The food has specific properties in order to provide balanced nutrition for individuals working in space, while being easy and safe to store, prepare and consume in the weightless environments of manned spacecraft. Also, foods taken into space must be light-weight, compact, tasty and nutritious. They must also be kept for long periods without refrigeration. A variety of menus of foods provide each astronaut with 2500 or more calories per day. In this paper, the food ingredients required for astronauts and essential nutritional factors is studied. Additionally, the trend of space food system improvement is mentioned briefly. Furthermore, the effect of situation which exists in the space, like the impact on microgravity, on astronaut's body, and protection of the astronaut body are mentioned.

Keywords: Space Food, Food Packing, Astronaut, Microgravity

F. Azimi*, M. Sc. Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology

Z. Hajebrahimi, Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology

K. Nekoufar, Assistant Professor, Department of Islamic University of Chalus

*Corresponding Author, Postal Code: 1465774111, Tehran, IRAN

f.azimi@modares.ac.ir

مقدمه

فضانوردان مثل همه‌ی انسان‌ها از غذاهایی استفاده می‌کنند که می‌توان آن‌ها را غذاهای اصلی نامید. غذا در فضاپیما باید مغذی باشد، راحت آماده شود و به سادگی قابل نگهداری باشد. این غذاها به دقت توسط متخصصان پزشکی فضایی انتخاب، و با روش‌های ویژه تهیه و بسته‌بندی می‌شوند. غذای فضانوردان باید روی هم‌رفته نیازهای انرژی و تغذیه‌ای فضانوردان را برآورده سازد تا آن‌ها نیرو و سلامت کافی برای انجام مأموریت خود را داشته باشند. مواد غذایی در مأموریت‌های کوتاه‌مدت به همراه فضانوردان به فضا فرستاده می‌شود. در مأموریت‌های بلندمدت، مانند مأموریت فضانوردان در ایستگاه فضایی بین‌المللی، مواد غذایی بطور منظم به وسیله فضاپیماهای پشتیبانی از زمین برای آنها فرستاده می‌شود. حمل هر کیلو محموله به فضا حدود ۳۰۰ میلیون ریال هزینه دارد. از این رو، هر وعده غذایی که فضانوردان در ایستگاه بین‌المللی فضایی صرف می‌کنند، با احتساب وزن غذا، آب و ظروف مورد استفاده هزینه بسیار بالایی دارد [۱].

در ابتدا چون نمی‌دانستند بلع در شرایط بی‌وزنی چگونه است بنابراین بیشتر غذاها را به صورت پوره یا خمیر در می‌آوردند و آن‌ها را در داخل تیوپ‌هایی مثل تیوپ‌های خمیرندان جاسازی می‌کردند و فضانورد، تیوپ را در دهان می‌گذاشت و با فشار دادن تیوپ خمیر را می‌خورد. این نوع غذا خوردن اصلاً لذت‌بخش نبود و خیلی از فضانوردان ترجیح می‌دادند تا آن‌جا که می‌شود از غذا خوردن پرهیز کنند. فضانوردان پروژه‌های جمینای و آپولو از غذاهای خشک و یخ‌زده استفاده می‌کردند. اما به تدریج تغذیه فضانوردان بهتر شد و در حال حاضر تغذیه فضانوردان در فضا همانند تغذیه بر روی زمین است. البته با کمی محدودیت به طور مثال به دلیل وجود شرایط بی‌وزنی در فضا، پاشیدن نمک و فلفل امکان‌پذیر نیست؛ زیرا در این صورت ذرات آنها در هوا معلق مانده و وارد دریچه‌های هوا یا تجهیزات شده یا وارد دهان، چشم و بینی فضانورد می‌شود، به همین منظور نمک و فلفل می‌بایست به صورت آب‌نمک یا فلفل حل شده در روغن مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۱ و ۲) [۲].

در محیطی که گرانش کم است، غذا و نوشیدنی به راحتی در فضا معلق می‌شوند. برای فائق آمدن به چنین مشکلی، غذا را باید با دقت در ظرف قرار داد و نوشیدنی‌ها را به صورت پودر دی هیدراته نگهداری کرد. فضانوردان هنگام خوردن به این پودر آب اضافه می‌کنند. غذاها، جزئی یا کلی، دی هیدراته هستند تا مانع از ایجاد بخار شوند و گوشت‌ها را قبل از انتقال

به شاتل در معرض تابش پرتوهای یونیزه کننده مانند پرتوهای الکترون، اشعه گاما و اشعه ایکس قرار می‌دهند تا میکرو ارگانسیم‌های موجود در آن‌ها از بین برود.

وعده‌های غذایی فضانوردان، صرف نظر از میان وعده‌ها، سه نوبت است و غذاها بنا به خواست فضانوردان و تنوع غذایی موجود آماده می‌شوند و طوری در شاتل قرار می‌گیرند که شناور نشوند. در زمان صرف غذا، فضانوردان به بخش میانی کابین که «گالری کابین» نامیده می‌شود می‌روند، آب را به غذاها و مایعات دی هیدراته اضافه می‌کنند و در دستگاه میکروویو گرم می‌کنند. این فرایند ۲۰ تا ۳۰ دقیقه طول می‌کشد. ظرف غذای فضانوردان مخصوص است به نحوی که کاملاً بسته شده و هوا به هیچ وجه در آن نفوذ نمی‌کند. جعبه یا سینی حامل ظرف غذا نیز به دیواره یا لباس فضانوردان متصل است. آن‌ها بسته‌های غذایی خود را با استفاده از قاشق، چنگال و چاقو می‌خورند.

در هر شاتل به اندازه روزهای سفر فضایی غذا انبار می‌شود. در یک دستگاه نگه‌دارنده ایمن نیز برای مواقع اضطراری یا مأموریت‌های پیش‌بینی نشده، غذای اضافی به اندازه ۳ هفته به ازای هر فضانورد ذخیره می‌شود (حدود ۲۰۰۰ کالری در روز) این غذاها برای ماندگاری بیشتر دی هیدراته می‌شوند. فضانوردان چندان بوی ادویه و غذا را حس نمی‌کنند. بنابراین در غذای آن‌ها ادویه به اندازه‌ای استفاده می‌شود که بتوانند مزه و بو را کمی حس کنند [۲].

در شاتل‌ها فریز و یخچال وجود ندارد؛ بلکه دستگاه تغذیه جدیدی برای شاتل‌ها طراحی شده است، به این صورت که اتاقکی در وسط کابین وجود دارد که دارای دستگاه‌های توزیع آب سرد و گرم، اجاق گاز، سینی‌های سرو غذا، انباری، سرویس‌های بهداشتی شخصی، آب گرمکن و جعبه کمک‌های اولیه است.



شکل ۱- غذای جمینی و مرکوری شامل: کیک میوه، ساندویچ مرغ، نان، شکلات و آجیل

ارتباط است. در طی مسافرت فضایی MRI و اندازه‌گیری (دستی با نوار مخصوص)، کاهش ۱۰-۴ درصد در عضله پشت ساق پا نشان را نشان داد. شاید علت اتلاف حجم عضله در فضا ارتباط با تغییرات چرخه پروتئین در بدن و نشر فنیل آلانین در بافت طی و بعد از مسافرت فضایی است.

در یک تحقیق دو هفته‌ای که در دمای -6°C بر روی افراد و هنگام استراحت مطلق^۱ انجام شد؛ مشخص شد که در طی بی‌وزنی، ترشح پیرویدوکسیک اسید (B6) افزایش میابد که این امر نشان‌دهنده افزایش متابولیسم پروتئین است.

هدف از داشتن تغذیه مناسب در فضا، جلوگیری از آتروفی عضلانی است. تجویز خوراکی اسیدهای آمینه با زنجیره‌های جانبی اثر بسیار ناچیزی بر سنتز پروتئین عضله پا دارد.

در افراد گروه bed rest با وجود تغذیه مناسب، میزان کافی انرژی دریافتی و میزان بالای پروتئین، باز هم تولید نیتروژن منفی است. نیروی جاذبه کم در فضا منجر به کاهش توده و عملکرد عضلانی، به خصوص در پاها می‌شود. در طول سفر به فضا، تعادل پتاسیم و نیتروژن منفی است و علی‌رغم اتلاف حجم عضله، دفع ادراری کراتینین تغییر نمی‌کند. ممکن است آتروفی عضله در فضا ناشی از تغییر در متابولیسم پروتئین کل بدن باشد. برخی از محققان معتقدند که آتروفی عضله ناشی از پرواز، به دلیل افزایش سرعت متابولیسم پروتئین است که این امر می‌تواند ناشی از استرس موجود باشد.



شکل ۳- میزان مصرف ترکیبات غذایی توسط فضانوردان در فضا

استفاده بهینه از انرژی

یکی دیگر از دلایل مهم برای کاهش توده بدن در فضا، مسئله استفاده بهینه از انرژی است. معمولاً به دلیل فضای محدود در سفینه و محدودیت در میزان ورزش، میزان انرژی مصرفی برای ورزش ایروبیکی در فضا، کمتر از میزان انرژی مصرفی بر روی زمین است. معمولاً به دلیل افزایش غلظت



شکل ۲- یک سینی غذا در ایستگاه فضایی بین‌المللی قیچی، کارد و چنگال بوسیله آهن‌ربا، و بسته‌های غذایی نیز به وسیله چسب ولکرو در سینی ثابت می‌مانند. (تنقلاتی مانند بیسکویت و آبنبات نیز در مأموریت‌های طولانی است)

تغذیه در فضانوردان

مهم‌ترین مسئله در روزهای اول سفر به فضا حفظ توانایی افراد در خوردن غذا در شرایط بی‌وزنی است. در طول سفر به فضا بر حسب مدت سفر، تغییرات عمده‌ای در فضانوردان ایجاد می‌شود که در زیر به شرح هر یک پرداخته می‌شود.

توده بدن

کاهش ۱-۵ درصدی توده کل بدن در طول سفر به فضا موجب تغییر ترکیب بدن می‌شود. در طول سفر به فضا، عضلات، بافت استخوانی و بافت چربی حدود ۱-۵٪ کیلوگرم آب خود را از دست می‌دهند؛ به‌رغم دریافت انرژی کافی از منابع غذایی، توده بدن فضانوردان کاهش می‌یابد.

در طی مسافرت هوایی شاتل^۱، هر کدام از اعضای ۱۳ نفره این سفینه فضانورد حدود ۳/۹ کیلوگرم وزن خود را از دست دادند. در این افراد انرژی مصرفی قبل از سفر به فضا روزانه حدود ± 2706 در ۱۱/۳۸ میلی‌گرم بوده است. در حالی که در طی پرواز این میزان حدود ± 2726 میلی‌گرم بود. در اسکای‌لب^۲ انرژی مصرفی افراد قبل از سفر $\pm 2833\text{mg/day}$ و در طی سفر $\pm 189\text{mg/day}$ بوده است (شکل ۳).

عضله و پروتئین

مطالعات حاکی از آن است که در طول مسافرت‌های فضایی، عضلات پیش ساق پا حدود ۴-۱۰ درصد کاهش می‌یابد. کاهش حجم عضله در فضا، با تغییرات چرخه پروتئین در بدن و نشر فنیل آلانین در بافت، حین و بعد از مسافرت فضایی، در

1. Shuttle
2. Sky Lab

3. Bed Rest

کورتیزول در ادرار و پلاسما، میزان انرژی مصرفی در هنگام استراحت در طول سفر به فضا افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در فضا، انرژی مصرفی در طول ورزش کمتر و انرژی مصرفی در هنگام استراحت نسبت به زمین بیشتر است، می‌توان نتیجه گرفت، انرژی کل مصرفی در فضا و زمین مشابه یکدیگر است (جدول ۱).

جدول ۱- میزان انرژی مورد نیاز انسان [۳]

جنسیت	سن	انرژی مورد نیاز (کیلوکالری برای یک روز)
زن	۱۸-۳۰	۱۴/۷*وزن + ۴۹۶
	۳۰-۶۰	۸/۷*وزن + ۸۲۹
مرد	۱۸-۳۰	۱۵/۳*وزن + ۶۷۹
	۳۰-۶۰	۱۱/۶*وزن + ۸۷۹

تبادل مایعات و الکترولیت‌ها

علت پف کردن صورت فضانوردان در روزهای اول مأموریت فضایی، تغییر میزان مایعات اطراف سر به دلیل شیفت مایعات از اندام‌های تحتانی به اندام‌های فوقانی به دلیل نبود جاذبه است. حجم پلاسما در طی بیست و چهار ساعت ابتدایی سفر به فضا حدود ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. سرعت فیلتراسیون گلومرولی نیز در طی ساعت‌های اولیه سفر در حدود ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. کاهش متقارن سطح پروتئین کل پلاسما منجر به حفظ ترکیب الکترولیت‌ها در حد طبیعی می‌شود. به نظر می‌رسد پس از کاهش حجم پلاسما، بدن خود را با شرایط جدید هوموستاتیک تطبیق می‌دهد. به دلیل کاهش حجم پلاسما، فضانوردان پس از بازگشت از سفر، با مشکل عدم توانایی ایستادن بر روی پاهایشان بر روی زمین مواجه خواهند شد. لذا برای برطرف کردن این مشکل، فضانوردان محلول آب با نمک را قبل از رسیدن به زمین مصرف می‌کنند تا به کمک آن، حدود نیمی از حجم پلاسمای کاهش یافته، جایگزین گردد. دریافت مایعات، به شکل غذاهای آبکی و نوشیدنی‌ها در طول پرواز ظاهراً به دلیل کاهش حس عطش و تشنگی از دو هزار تا کمتر از هزار میلی‌لیتر در روز متغیر است. میزان دفع ادرار بسیار کم و در حدود ۲۸۰۰ میلی‌لیتر تا کمتر از ۵۰۰ میلی‌لیتر در روز است. فضانوردان باید حداقل ۲۰۰۰ میلی‌لیتر مایعات در روز و در طول سفر مصرف کنند [۴].

هوموستاز کلسیم و استخوان

در طول سفر به فضا، مواد معدنی استخوان‌ها به خصوص استخوان‌هایی مثل پاشنه پا که وزن بدن را تحمل می‌کنند کاهش می‌یابد. تغییر هوموستاز استخوان معمولاً در ساعت‌ها و در روزهای اول بی‌وزنی ایجاد می‌شود [۵].
به نظر می‌رسد که غلظت کلسیم سرم در طول سفر به فضا تغییر نکنند. به هر حال سفرهای فضایی کوتاه و طولانی مدت با افزایش دفع کلسیم از ادرار و خطر تشکیل سنگ‌های کلیه همراه است. به دلیل کاهش کلسی تریول سرم، غلظت PTH پلاسما در طول سفر کاهش می‌یابد. در طی بررسی‌های انجام شده علی‌رغم آن که فضانوردان مکمل ویتامین D را در طول سفر دریافت می‌کنند، سطح کلسی دیول سرم همچنان پایین می‌باشد. توصیه ناسا برای جبران دفع ویتامین D در فضا، مصرف ۱۰ میکروگرم از آن در روز است. به دنبال کاهش جذب و افزایش دفع کلسیم، کاهش غلظت PTH و تغییر میزان کلسی دیول، تعادل منفی کلسیم در فضانوردان دیده می‌شود. توصیه NASA برای جبران کلسیم و فسفر مصرف ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌گرم در روز برای فضانوردان در سفرهای فضایی طولانی مدت است.

هماتولوژی

پس از سفر به فضا، به دنبال کاهش گلبول‌های قرمز در گردش خون، کم‌خونی بروز می‌کند. سرعت کاهش گلبول‌های قرمز تقریباً یک درصد در روز است. در اوایل پرواز، سطح اریتروپوئین پلاسما کاهش می‌یابد. در طول سفر، متابولیسم آهن و سنتز هموگلوبین و گلبول‌های قرمز نسبت به قبل از پرواز تغییر نمی‌کند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که گلبول‌های قرمز جدید قبل از رهایی به جریان خون تخریب می‌شوند. علت این مسئله، فشار بالای اکسیژن در سفینه است که منجر به تخریب غشای گلبول‌های قرمز می‌شود. غلظت فریتین سرم در طول و پس از پرواز، افزایش می‌یابد. میزان آهن دریافتی برای فضانوردان زن و مرد کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در روز توصیه شده است [۶].

تغییرات دستگاه گوارش در فضانوردان

یکی دیگر از عوارض سفر به فضا، تغییر در عملکرد دستگاه گوارش است. تغییر مایعات، همراه با کاهش دریافت آن و کاهش حرکت در فضا، می‌تواند منجر به کند شدن حرکات دستگاه گوارش شود. در طول پرواز، تعداد باکتری‌های روده افزایش می‌یابد و ترکیب فلور آن نیز دچار تغییر می‌شود. تشعشعات موجود در فضا می‌تواند منجر به تولید رادیکال‌های آزاد یا تغییر در ساختمان DNA شوند. تشعشع می‌تواند شیوع سرطان را افزایش دهد. استفاده از آنتی

برای پروازهای بیشتر از ۱۰ روز امکانات لازم برای گرم کردن غذا را فراهم می‌آورند اما در پروازهای سه روزه لزومی برای وجود این تجهیزات نیست.

هزینه غذای هر فرد بستگی به قد، وزن، سن و جنسیت فرد دارد. جدول (۲) فعالیت‌ها و میزان مصرف انرژی به ازای فعالیت‌های مختلف در یک فرد بالغ (مرد) برای یک فرد بالغ (مرد) را نشان می‌دهد.

جدول ۲- فعالیت‌ها و میزان مصرف انرژی

تراز فعالیت	مصرف انرژی (Kj/d)
مصرف کلی ^۴	۷۱۴۰
استراحت ^۵	۸۴۰۰
فراغت ^۶	۹۶۶۰
کار ^۷	۱۰۰۸۰-۲۰۱۶۰

در جدول (۳) نمونه‌ای از منوی غذایی فضانوردان در یک روز آورده شده است [۸].

جدول ۳- نمونه‌ای از منوی غذایی فضانوردان در یک روز

غذا	وعده
پوره سیب زمینی، نان گندم غنی شده، میوه و قهوه	صبحانه
پنیر، بیسکویت غنی شده و آب سیب	صبحانه دوم
ماهی منجمد، سوپ گوشت گوزن، گوشت کبابی، نان، آب انگور و آلو	ناهار
همبرگر و تخم مرغ، پنیر و دانه‌های روغنی، نان گندم، چای و شیرینی	شام

برنامه‌های غذایی بر اساس کالری‌ها و ویتامین‌های روزانه موردنیاز فضانوردان تنظیم شده و فضانوردان اجازه ارائه منوی دلخواهشان را ندارند؛ اما امکان انتخاب از میان غذاهای منو را خواهند داشت [۹]. به طور خلاصه در طی مسافرت فضایی ذخیره مواد غذایی مختلف بر پایه مواد غذایی مورد نیاز بدن

اکسیدان‌ها، مهارکننده‌های پروتاز، رتینوئیدها و سلنیوم می‌توانند از بروز سرطان ناشی از تشعشع موجود در فضا پیشگیری کنند.

جذب پروتئین و انرژی دریافتی در طی سفر و بعد از سفر فضایی تفاوت خاصی را نشان نمی‌دهد. تمام فضانوردان در آمریکا به طور اختصاصی ۱۰۰ درصد برنامه غذایی توصیه شده را مورد استفاده قرار می‌دهند. اگرچه میزان جذب در افراد مختلف یکسان نیست؛ اما میزان دریافت تقریباً یکسان است [۷].

سیستم غذایی در فضا

پایه و اساس اکثر سیستم‌های غذایی بر وزن، حجم ذخیره‌سازی، دستور طبخ و زمان لازم برای آماده‌سازی مواد مصرفی بنا شده است.

اسکای‌لب تنها برنامه فضایی است که غذا را به شکل منجمدشده در فریزر و یخچال در اختیار فضانوردان قرار می‌دهد. امروزه، سیستم غذایی فضا بیشتر شبیه سیستم غذایی زمین است.

غذا در مأموریت‌های فضایی متناسب با نوع ذائقه فضانوردان انتخاب می‌شود و در بسته‌بندی‌های سبکی که میزان فشار آنها کنترل شده است قرار می‌گیرد. برخی از انواع این غذاها نیز در قوطی‌هایی قرار دارند که از درهای محکمی برخوردار بوده و برای جلوگیری از پرواز آن‌ها در شرایط خلأ، در سینی‌های ویژه‌ای کار گذاشته شده‌اند تا فضانوردان بتوانند سینی را به راحتی به جایی اتصال دهند. میزان نیازمندی به غذا در هر روز، به فعالیت‌ها و متابولیسم فردی افراد بستگی دارد. برنامه غذایی فضانورد باید از سه وعده غذایی صبحانه، ناهار و شام در روز تبعیت کند و بسته به حجم و فشردگی برنامه‌های کاری فضانورد باید در صورت نیاز وعده‌های تکمیلی نیز در نظر گرفته شود. ذخایر مواد غذایی، سبزیجات، میوه‌ها و غذاهای یخ زده و نیمه آماده باید در محفظه‌ها و ظروف علامت‌دار با درج اطلاعات بر روی آن‌ها در مورد نوع، مدت زمان نگهداری و مصرف مواد غذایی نگهداری شوند. در داخل فضاپیما باید محل مناسبی برای صرف غذا بطور مستقیم از بسته‌بندی با استفاده از وسایل غذاخوری (چاقو، قاشق، چنگال، قیچی) در نظر گرفته شود و تمهیداتی برای ثابت کردن و جلوگیری از حرکت وسایل غذاخوری اندیشیده شود. پس از صرف غذا باید امکانات شستشو وسایل غذا خوری و نظافت محل مصرف غذا وجود داشته باشد.

4. General Budget
5. Resting
6. Leisure
7. Working

در فضا صورت می‌گیرد و تمام رژیم‌های غذایی بر پایه حفظ سلامت اعضای سفینه‌های فضایی برنامه‌ریزی شده‌اند.

ترکیبات مواد غذایی مورد نیاز

در جدول (۴) ترکیبات غذایی مورد نیاز روزانه فضانوردان در یک روز آورده شده است.

مسائل سلامت و ایمنی مواد غذایی در ماموریت‌های طولانی مدت اکتشافات فضایی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و وجود ترکیبات مورد نیاز روزانه در وعده‌های غذایی آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد.

اخیراً مطالعات نشان داده است که مصرف باکتری‌های پروبیوتیک سلامت انسان‌ها را افزایش می‌دهد به خصوص در طول سفرهای فضایی سیستم ایمنی خدمه پروازی را بهبود می‌بخشد. بنابراین توصیه می‌شود باکتری‌های پروبیوتیک به عنوان یکی از نیازمندی‌های غذایی محسوب گردد [۱۱]. علاوه بر آن، امروزه نوشیدنی‌هایی حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانت با برندهای تجاری مختلف همراه با ترکیب کوآنزیم^۸ نیز توسط شرکت‌های مختلف تولید می‌شود که این ترکیبات در جهت افزایش سیستم ایمنی خدمه پروازی در ماموریت‌های طولانی مدت فضایی فرموله می‌شوند.

جدول ۴- ترکیبات غذایی مورد نیاز روزانه فضانوردان [۱۰]

مواد مغذی	میزان نیاز جذب روزانه
پروتئین	۰/۸ گرم / کیلوگرم کمتر از ۳۵ درصد کل مصرف انرژی روزانه (۲/۳ مقدار به صورت پروتئین حیوانی و ۱/۳ به صورت پروتئین گیاهی باشد)
کربوهیدرات‌ها	۵۵-۵۰ درصد کل مصرف انرژی روزانه
چربی	۳۵-۲۵ درصد کل مصرف انرژی روزانه
اسیدهای چرب امگا ۶	۱۴ گرم
اسیدهای چرب امگا ۳	۱/۱ الی ۱/۶ گرم
چربی اشباع	کمتر از ۷ درصد کل کالری
اسیدهای چرب ترانس	کمتر از ۱ درصد کل کالری
کلسترول	کمتر از ۳۰۰ میلی گرم در روز
فیبر	۱۴-۱۰ گرم بر ۴۱۸۷ کیلو ژول

مواد مغذی	میزان نیاز جذب روزانه
مایع	کمتر یا مساوی از ۲۰۰۰ میلی لیتر
ویتامین A	۷۰۰-۹۰۰ میکروگرم
ویتامین D	۲۵ میکروگرم
ویتامین K	خانم‌ها ۹۰ میکروگرم و آقایان ۱۲۰ میکروگرم
ویتامین E	۱۵ میلی گرم
ویتامین C	۹۰ میلی گرم
ویتامین B12	۲/۴ میکروگرم
ویتامین B6	۱/۷ میلی گرم
تیامین	خانم‌ها ۱/۱ میکرومول و آقایان ۱۲۰ میکرومول
ریبوفلاوین	۱/۳ میلی گرم
فولات	۴۰۰ میکروگرم
نیاسین	۱۶ میلی گرم
بیوتین	۳۰ میکروگرم
پانتوتنیک اسید	۳۰ میلی گرم
کلسیم	۱۲۰۰-۲۰۰۰ میلی گرم
فسفر	۷۰۰ میلی گرم
منیزیم	خانم‌ها ۳۲۰ میلی گرم و آقایان ۴۲۰ میلی گرم
سدیم	۱۵۰۰-۲۳۰۰ میلی گرم
پتاسیم	۴/۷ گرم
آهن	۸-۱۰ میلی گرم
مس	۹-۰/۵ میلی گرم
منگنز	خانم‌ها ۱/۸ و آقایان ۲/۳ میلی گرم
فلوراید	خانم‌ها ۳ و آقایان ۴ میلی گرم
روی	۱۱ میلی گرم
سلنیوم	۴۹۹-۵۵ میکروگرم
ید	۱۵۰ میکروگرم
کرومیوم	۳۵ میکروگرم

آزمایشگاه‌های تخصصی مواد غذایی ناسا

آزمایشگاه مواد غذایی فضایی در ناسا، به تحقیق، تست و تولید غذاهای مناسب برای مصرف در خارج از جو زمین می‌پردازد. هر چیزی از بسته‌بندی تا راهنمای غذا باید با دقت زیاد ارزیابی شود، هر خوراکی باید دارای مواد غذایی، مزه، بو، ماندگاری و بی‌خطری باشد و در ضمن نگرانی‌ها در رابطه با زمان آماده سازی، ابعاد و ماندگاری در بسته‌بندی به میزان ۳ تا ۵ سال را هم رفع کند. به گفته ناسا، غذاهای فضایی یک نقش دیگر هم ایفا می‌کند، آنها نه فقط مواد غذایی را به بدن فضانوردان می‌رسانند، بلکه به سلامت روانی آن‌ها نیز کمک می‌کنند. تضمین کیفیت میکروبی و شیمیایی و فیزیکی مواد غذایی فضانوردان توسط دستگاه‌ها و تجهیزات موجود در آزمایشگاه‌های تخصصی سنجیده می‌شود.

کنترل میکروبی مواد غذایی

به دلیل اهمیت مأموریت‌های فضایی و سلامت خدمه پروازی یکی از الزامات مهم غذای فضانوردان کنترل و بررسی میکروبی غذاست که باید شامل شرایط خاصی باشد که در جدول (۵) آورد شده است:

جدول ۵- تست‌های میکروبی برای غذای فضانوردان

میزان مجاز (cfu/g)	تست‌های میکروبی
۱۰۰۰۰	شمارش کلی ^۹
۱۰۰	کلی فرم ^{۱۰}
۰	کلی مدفوعی
۲۰	استرپتوکوکسی مدفوعی
کمتر از ۱۰۰	استافیلوکوک‌های کوآگولاز مثبت
۰	سالمونلا
۱۰۰۰	کپک و مخمر

دکتر سیمارک اوت از آزمایشگاه میکروبی‌شناسی JSC گزارش داد بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۱ از میان ۲۲۲۱ محصول غذایی ۵۱ مورد از نظر میکروبی برای پرواز در شاتل و ایستگاه فضایی مورد تأیید بودند [۱۳].

نیازهای غذایی از نظر ناسا

نیازهای غذایی ناسا برای مردان و زنان یکسان است. این مساله در مورد آکادمی ملی علوم دریافت پذیرش مرجع رژیم غذایی (DRI) متفاوت است که تغییرات اندکی را در رژیم غذایی بر اساس جنسیت توصیه می‌نماید. نیازهای ویتامین و مواد معدنی برای فضانوردان اساساً همان موارد توصیه شده توسط DRI است، بجز در مورد آهن، فضانوردان محدود به استفاده از ۱۰ mg/d، DRI هستند در حالی که توصیه ۸ mg/d برای مردان و ۱۸ mg/d برای زنان می‌باشد. این امر یک نوع پاسخ به یکی از تغییرات فیزیولوژیکی است که در میکروگراثشی رخ می‌دهد. میکروگراثشی باعث جابجایی اندک مایعات از اندام‌های تحتانی به اندام‌های بالایی بدن می‌شود که در اثر آن بدن این جابجایی را به صورت یک مقدار اضافی خون تفسیر می‌نماید و دفع سیال را تا زمانی که تعادل جدیدی حاصل شود افزایش می‌دهد. این کار باعث کاهش حجم کل خون در حین پرواز می‌گردد. پس از برقراری تعادل، جابه‌جایی سلول‌های قرمز خون آهسته و نیاز به آهن و اکسندرها کاهش می‌یابد.

یک تغییر فیزیولوژیکی مهم دیگر که در میکروگراثشی رخ می‌دهد، از دست رفتن توده استخوان است. استخوان‌های تحمل‌کننده وزن، ۱ تا ۲ درصد مقدار کلسیم خود را هر ماه از دست می‌دهند. دلیل کاهش میزان توده استخوان، کمبود نیروی وارد بر اسکلت در مقایسه با یک روز طبیعی بر روی زمین است. افت استخوان در یک سال سفر فضایی، معادل با کاهشی است که یک شخص معمولی در طی دوره‌ای ۱۰ ساله و از آغاز سن ۵۰ سالگی به بعد بر روی زمین تجربه می‌نماید. از دست رفتن استخوان‌ها، می‌تواند برای مأموریت‌های فضایی به مریخ که ممکن است ۲ سال یا بیشتر به طول انجامد یک «مسئله بازدارنده» محسوب شود.

راه حل این مسئله افزایش کلسیم با دادن مکمل‌های کلسیم به فضانورد در طول پرواز نیست به دلیل آن که بدون وارد شدن نیرو بر روی سیستم اسکلت، سلول‌های استخوان ساز، کلسیم اضافی را دریافت نمی‌کنند. به جای آن، کلسیم به درون ادرار وارد شده و پتانسیل ایجاد سنگ‌های کلیه را افزایش می‌دهد. ناسا بر روی این مسئله سال‌های زیادی کار کرده و تاثیر ورزش کردن در جلوگیری از کاهش از دست رفتن استخوان در مقایسه با سایر روش‌ها قابل توجه بوده است. یک سری از دارو درمانی‌ها پیشرفت‌هایی را نشان می‌دهند اما مشکل همچنان وجود داشته و حل نشده باقی مانده است [۱۲].

9. Total Microbial Count
10. Coli Form

• غذاهای خردشده: غذاهایی که خردشده هستند مانند چیپس یا کلوچه نیز در دسر سازند بیسکویت و کلوچه‌های فضایی را آنقدر کوچک می‌پزند که فضاوردان بتواند یکباره آن را در دهان خود قرار دهد. فضاوردان معمولاً به جای نان از نوعی نان ذرت مکزیکی استفاده می‌کنند که به قدر کافی کوچک پخته شده است.

• برخی میوه‌جات: برخی از میوه‌جات مانند پرتقال و موز تازه نیز به فضا برده نمی‌شوند. این میوه‌ها به ویژه زمانی که مصرف می‌شوند، بوی خاصی از خود تولید می‌کنند. زمانی که فضاوردان در مدار زمین قرار می‌گیرند به علت بی‌وزنی دچار حالت تهوع هستند. بوی ناشی از پرتقال و موز تازه می‌تواند این حالت را تشدید کرده و شرایط جسمی آنها را وخیم‌تر نماید.

بسته بندی مواد غذایی

یکی از موارد مهم در تغذیه فضاوردان بسته‌بندی مواد غذایی است که باید شرایط خاص خودش را داشته باشد. به-گونه‌ای مواد غذایی انتخابی فضاوردان بسته بندی می‌شود که از نظر وزنی سبک باشد و به آسانی باز شود و امکان غذا خوردن در آن برای فضاوردان راحت باشد و همچنین دارای قسمت‌های تیز و برنده که باعث آسیب فضاوردان می‌شود، نباشد. بافت مواد غذایی از نظر ساختار و بسته‌بندی و پرس بودن بایستی بتواند در مقابل شوک‌های ماموریتی، تغییرات شتاب و ارتعاشات مقاومت داشته‌باشد و انسجام خود را از دست ندهد. بسته‌بندی‌ها به گونه‌ای باشند که با چسب‌های کاغذی به سینی غذا متصل شوند. بسته‌بندی، ظاهر و رنگ مناسب با ذائقه فرد داشته باشند. هر فرد باید بتواند به راحتی بسته غذایی متناسب به ذائقه خود را تشخیص داده و استفاده کند. پرس یا دوخت بسته‌بندی‌ها باید به نیروهای ناشی از تغییرات فشار مقاوم باشد. در هنگام استفاده از مواد غذایی جنس ماده بسته‌بندی‌کننده به گونه‌ای نباشد که باعث خرد شدن یا چسبیده شدن مواد غذایی به آن شود. در شکل (۷) و شکل (۸) بسته‌بندی مواد غذایی و صرف غذا نشان داده شده است. هر بسته‌بندی مواد غذایی باید دارای کد تعیین‌کننده مشخصات غذا و تاریخ و نوع مصرف آن باشد. حتی باید دستورالعمل آماده‌سازی آن غذا بروی آن ذکر شده باشد. در برنامه‌های فضایی روسیه بیشتر غذاها به صورت کنسروی در قوطی‌ها بسته‌بندی می‌شوند. با قوطی بازکن در آن را باز کرده و از الکتریسته برای گرم کردن استفاده می‌کنند و به‌طور مستقیم از داخل قوطی غذا می‌خورند [۱۴].



شکل ۴- اتاق بسته‌بندی آزمایشگاهی سیستم غذاهای فضایی



شکل ۵- سیستم FREEZ-DRYER آزمایشگاه سیستم‌های غذایی فضا

غذاهایی که در فضا مصرف نمی‌شوند

برخی گونه غذاها در فضا استفاده نمی‌شوند که شامل موارد زیر است:

- نوشابه‌های گازدار: گاز موجود در این نوشابه‌ها در شرایط درون فضاپیما، به صورت حباب درآمده و به طور تصادفی در محلول نوشابه پخش می‌شوند. با بازکردن درب نوشابه، این حباب‌ها به همراه مایع نوشابه در فضای کوچک کابین فضاپیما پخش شده و ایجاد دردسر خواهند کرد.
- غذاهای پودری: غذاها یا چاشنی‌هایی که به شکل پودر هستند نیز در منوی غذای فضاوردان وجود ندارد. پودر ریز می‌تواند به آسانی در فضا پخش شود و برای تجهیزات حساس داخل کابین ایجاد اشکال نماید. از این رو فضاوردان مجبورند نمک را به صورت محلول در آب و فلفل را به صورت حل شده در روغن با خود به سفر فضایی ببرند.

استفاده از تکنولوژی نیروی محرکه کنونی تصور می‌شود که یک رفت و برگشت ۲ ساله باشد. سفر به مریخ و برگشتن به زمین نیازمند این است که دو سیاره در موقعیت‌های مطلوبی در مدارهایشان باشند. این به معنای یک پرواز ۶ ماهه به مریخ، یک سال بر روی سطح آن و یک پرواز ۶ ماهه برای برگشت است. بنابراین مأموریت‌های سفر به ماه و مریخ، نیازمند یک سیستم غذا با عمر مفید بسیار بیشتری (۲ تا ۳ سال) نسبت به آنچه برای مأموریت‌های کنونی ایستگاه فضایی بین‌المللی موجود است.

چالش‌های مربوط به سیستم غذایی آینده بسیار مشابه با چالش‌های کنونی ارائه شده توسط مأموریت‌های قبلی فضایی است. جرم و حجم سیستم غذا و بسته‌بندی مربوطه محدود خواهد بود. یخچال‌ها و فریزرها ممکن است در دسترس نباشند. قابل قبول بودن آیت‌های غذایی در مأموریت‌های دو ساله سخت‌تر نیز می‌شود.

مراجع

- [1] McNab, I.R., "Launch to space with an electromagnet railgun," *IEEE Transactions on magnetics*, Vol. 39, pp. 295-304, 2003.
- [2] Perchonok, M. and Bourland, C., "NASA food systems: past, present, and future," *Nutrition*, Vol. 18, pp. 913-920, 2002.
- [3] Protection, A.A.C., "Human energy requirements," *FAO corporate document repository*, 30/8/2017 2005.
- [4] Leach, C. S., W. C. Alexander, and P. Johnson, "Endocrine, electrolyte, and fluid volume changes associated with apollo missions," 1975.
- [5] Wronski, T. and E. Morey, "Alterations in calcium homeostasis and bone during actual and simulated space flight," *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 15, 1982, pp. 410-414.
- [6] Kimzey, S., P. Johnson, S. Ritzman, and C. Mengel, "Hematology and immunology studies: the second manned Skylab mission," *Aviation, space, and environmental medicine*, Vol. 47, 1976, pp. 383-390.
- [7] Kiefer, J. and Pross, H., "Space radiation effects and microgravity," *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, Vol. 430, 1999, pp. 299-305.
- [8] Casaburri, A.A. and C. A. Gardner, *Space food and nutrition: an educator's guide with activities in science and mathematics*, Guides - Classroom - Teacher, 1999.
- [9] Kerwin, J. and R. Seddon, "Eating in space— from an astronaut's perspective," *Nutrition*, Vol. 18, 2002, pp. 921-925.
- [10] Joint, F. and W.H. Organization, *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*, World Health Organization, 2005.



شکل ۲- بسته‌بندی مواد غذایی فضانوردان



شکل ۳- تصویر خدمه پروازی اسکای لب ۲ در حال غذاخوردن

دو مؤلفه مهم در مورد مواد غذایی؛ مواد مغذی لازم و انرژی (کالری) است. از آنجا که مصرف مقدار کافی کالری بدون در نظر گرفتن مواد مغذی لازم می‌تواند منجر به کاهش سلامت و راندمان جسمی خدمه پروازی در مأموریت‌های فضایی شود، بنابراین آشنایی با نیازهای تغذیه‌ای فضانوردان در طول مأموریت حایز اهمیت است.

غذاهای فضایی آینده

زمان آن رسیده که بشر به ماه بازگردد و شروع به آماده شدن برای اولین سفر به مریخ نماید. سیاست فضایی قرن ۲۱ ناسا به دنبال چنین گام‌هایی است، اما رفتن به ماه شامل پروازهای شبه-آپولو نیست. فضانوردان به آنجا می‌روند تا یک پایه دائمی را بسازند. نهایتاً، همین مسئله برای مریخ نیز برنامه‌ریزی شده است. عملی کردن این دیدگاه یک خانواده جدید از وسایل نقلیه فضایی را می‌خواهد که بهترین تکنولوژی گذشته را با بهترین تکنولوژی آینده ترکیب کند.

اگرچه اولین مأموریت‌ها به ماه کوتاه هستند و نیازمند اصلاحات مهم در سیستم غذایی نیستند، اولین سفر به مریخ با

- [13] Perchonok, M., G. Douglas, M. Cooper, and L. B. J. S. Center, "Evidence report: risk of performance decrement and crew illness due to an inadequate food system," *NASA Johnson Space Center, Houston, TX*, 2012.
- [14] Cooper, M., G. Douglas, and M. Perchonok, "Developing the NASA food system for long-duration missions," *Journal of food science*, Vol. 76, No. 2, 2011.
- [11] Isolauri, E., Y. Sütas, P. Kankaanpää, H. Arvilommi, and S. Salminen, "Probiotics: effects on immunity," *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 73, 2001, pp. 444s-450s.
- [12] LeBlanc, A.D. T.B. Driscoll, L.C. Shackelford, H. J. Evans, N. J. Rianon, S. M. Smith and *et al.*, "Alendronate as an effective countermeasure to disuse induced bone loss," *J Musculoskelet Neuronal Interact*, Vol. 2, No. 4, 2002, pp. 335-345.