

## آزمایشگاه در فضا؛

### آزمایشگاه فضایی در ایستگاه فضایی بین‌المللی (قسمت دوم)

انگیزه و مقصد اصلی در اجرای یک سامانه مراقبت سلامت خدمه «سی‌اچ‌ای‌سی‌اس» ایجاد شرایط مطلوب بدنی و تحت نظارت قرار دادن این شرایط در فضانوردانی که در مدار قرار دارند، است. با این وجود اجزای این سامانه ممکن است به طور اتفاقی برای پشتیبانی و کاربرد در پژوهش‌های علوم زیستی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار بگیرد. به طور مشابه، به اجرا در آوردن سامانه‌ی «سی‌اچ‌ای‌سی‌اس» ممکن است به استفاده موردی متناسب با موقعیت تجهیزات پژوهشی و مطالعاتی برای برآورد دوره‌ای خدمه درمانی پزشکی نیاز پیدا کند. بنابراین سامانه‌ی «سی‌اچ‌ای‌سی‌اس» دارای سیستم تسهیلات تحقیقات انسانی است که به اختصار آن را «اچ‌آراف» می‌نامند.

سیستم «اچ‌آراف» در ماژول آزمایشگاهی کلمبوس قرار داده شده است. آزمایشگاه فضایی کلمبوس یک آزمایشگاه علمی و بخشی از ایستگاه فضایی بین‌المللی است که توسط سازمان فضایی اروپا ساخته شده است. این آزمایشگاه فضایی به شکل استوانه‌ای به قطر چهار و نیم متر است؛ فضای داخلی آن با گنجایش ۷۵ متر مکعب از انعطاف زیادی برای نصب ابزارهای گوناگون پژوهشی برخوردار است. آزمایشگاه فضایی کلمبوس فضای کافی برای نصب ده قفسه تجهیزات با استاندارد بین‌المللی است. هشت قفسه در دیواره‌ها و دوتای آن‌ها در سقف آزمایشگاه قرار دارد. از این مجموعه، پنج قفسه متعلق به سازمان فضایی اروپا و پنج قفسه دیگر در اختیار ناسا است. هر کدام از این قفسه‌ها تقریباً به بزرگی یک اتاقک تلفن هستند، و قابلیت پشتیبانی یک آزمایشگاه مستقل به همراه تمام تجهیزات آن را دارا هستند. شکل و ابعاد ماژول‌های آزمایشگاهی ایستگاه فضایی (برای نمونه کلمبوس) برای این استوانه‌ای شکل طراحی شده‌اند تا بتوان آن را توسط بخش باری فضایی‌های شاتل برای انتقال به مدار زمین حمل کرد. این سیستم از دو قفسه به نام‌های «اچ‌آراف\_۱» و «اچ‌آراف\_۲» تشکیل شده است. ابعاد هر یک از این قفسه‌ها به اندازه‌ی یک اتاقک

در قسمت پیش بیان کردیم که ایستگاه فضایی بین‌المللی که به اختصار «آی‌اس‌اس» نامیده می‌شود، نهمین ایستگاه قابل سکونت در مدار است. آی‌اس‌اس یک ماهواره‌ی مسکونی عظیم و بزرگترین آزمایشگاه میکروگراویته در فضا است که با همکاری بیش از ۱۵ کشور سراسر جهان ساخته شده است. این ایستگاه فضایی در مدار زمین و در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین در حرکت است. سرعت آن در مدار معادل ۲۷,۷۰۰ کیلومتر بر ساعت است، که به این ترتیب روزی ۱۵ بار به دور سیاره زمین گردش می‌کند. ایستگاه فضایی بین‌المللی ۴۵۰ تن وزن خواهد داشت و ۱۲۰۰ متر مکعب فضای کار، پژوهش و زندگی برای فضانوردان فراهم خواهد آورد. این ایستگاه در حال حاضر ظرفیت شش سرنشین دائمی را دارا است. آی‌اس‌اس پرهزینه‌ترین دستگاه ساخته شده در طول تاریخ بشر است.

آزمایش‌های طولانی‌مدت در شرایط گرانش ناچیز در ایستگاه فضایی بین‌المللی انجام می‌شود. در این ایستگاه‌ها، امکان دخالت مستقیم انسان در آزمایش نیز وجود دارد. تأثیر بلندمدت حضور در فضا و شرایط گرانش ناچیز را تنها بر روی فضانوردان خدمه ایستگاه می‌توان تحقیق کرد. ایستگاه از ۱۴ بخش بزرگ استوانه‌ای شکل به نام ماژول (واحد یا بخش) تشکیل شده است. هر ماژول به طور جداگانه روی زمین درست شده و به کار انداخته شده و فضانوردان این بخش‌ها را در فضا به هم متصل کرده و می‌کنند. این ماژول‌ها دارای فشار هوای مناسب برای زندگی و کار انسان هستند. منبع نیروی الکتریکی ایستگاه فضایی بین‌المللی انرژی خورشیدی است. انرژی ابتدا فقط توسط صفحات خورشیدی متصل به بخش‌های روسی ایستگاه یعنی زاریا و زیوزدا تأمین می‌شد. پس از توسعه ایستگاه و نصب بخش‌ها و سازه‌های جدید، صفحات خورشیدی متصل به ستون فقرات ایستگاه، با تولید برق مستقیم ۱۳۰ تا ۱۸۰ ولتی، برق مورد نیاز بخش‌های دیگر را تأمین می‌کنند.

خطا برای دستگاه تعریف شده است. همه‌ی این کارها را این دستگاه به صورت خودکار انجام می‌دهد.



تصویر ۱- فضا نوردان در حال استفاده از دستگاه سنجش جرم شتاب خطی فضایی

### دستگاه اندازه‌گیری جرم بدن

البته ناسا از وسیله‌ای دیگری نیز موسوم به دستگاه اندازه‌گیری جرم بدن استفاده می‌کند که شامل: یک چهار پایه (یا صندلی) و یک فنر ساده است. فضا نورد بر روی این چهار پایه قرار می‌گیرد. این چهار پایه به فنر متصل است که آن نیز به نوبه خود به کف ایستگاه فضایی بسته شده است. فضا نورد فنر را متراکم می‌کند و سپس همراه آن به نوسان در می‌آید که تقریباً به صورت حرکت نوسانی ساده است. سرعت زاویه‌ای این حرکت از رابطه ۱- به دست می‌آید. سپس با کمک سرعت زاویه‌ای به دست آمده از رابطه ۱- دوره نوسان فنر از رابطه ۲- به دست می‌آید.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{رابطه-۱})$$

به دست می‌آید که در آن ثابت فنر و جرم در حال نوسان است.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{رابطه-۲})$$

دوره نوسان است. با دوره نوسان بدست آمده می‌توان جرم را از رابطه ۳- به دست آورد.

$$m = \frac{kT^2}{4\pi^2} \quad (\text{رابطه-۳})$$

آهنی تلفن است و هر کدام از این قفسه‌ها و ابزارهای نصب شده درون آنان خدمات و کاربردهای ویژه‌ای را برای آزمایش‌های زیستی-پزشکی فراهم می‌کنند.

قفسه «اچ‌آراف\_۱» دارای پانزده کشتو قابل حمل است که هشت کشتو در سمت چپ و هفت کشتو در سمت راست تعبیه شده است. بعضی از این قسمت‌ها فعال هستند و باقی غیر فعالند که ممکن است در طی مأموریت‌ها و اردوهای آتی ایستگاه فضایی بین‌المللی به کشتوهای «اچ‌آراف» اضافه شود. قفسه‌های سیستم «اچ‌آراف» کاربردهای متعددی دارد. قسمت‌های اصلی و عمده «اچ‌آراف\_۱» عبارتند از:

- سامانه تصویربرداری پزشکی التراسوند
  - ایستگاه کاری «اچ‌آراف\_۱»
  - سیستم تحلیل‌گر گازی با کاربرد در فیزیولوژی تحلیلی متابولیک
  - دستگاه سنجش جرم شتاب خطی فضایی
  - اجزای جانبی قفسه‌ی «اچ‌آراف\_۱»
  - دستگاه پایین آوردن فشار منفی بدن
- در این بخش بعضی کشتوهای «اچ‌آراف\_۱» را به صورت مختصر توضیح می‌دهیم.

### دستگاه سنجش جرم شتاب خطی فضایی

فضانوردان در ضمن یک مأموریت فضایی، نیاز دارند جهت بررسی سلامت جسمی و تغذیه‌ای از وزن دقیق خود آگاه شوند. متخصصان باید بدانند که فضانوردان در طی سفرشان به فضا چاق شده‌اند یا لاغر؟! در فضا گرانش صفر ( $g = 0$ ) یا بهتر است بگوییم ناچیز است. پس می‌توان نتیجه گرفت که وزن ( $m * g$  با واحد نیوتن) صفر خواهد بود. پس فضانوردان در فضا وزن ندارند ولی همچنان جرم دارند. از دستگاه سنجش جرم شتاب خطی فضایی برای اندازه‌گیری جرم بدن فضانوردان استفاده می‌شود. که آن را به اختصار «اس‌ال‌آی‌ام‌دی» می‌نامند. یکی دیگر از دستگاه‌های قرار داده شده در قفسه «اچ‌آراف\_۱»، دستگاه سنجش جرم شتاب خطی فضایی است.

برای اندازه‌گیری جرم از قانون دوم نیوتن استفاده می‌کنند. طبق فرمول قانون دوم نیوتن؛ نیرو مساوی است با ضرب جرم در شتاب. طبق فرمول  $F=ma$  که در این جا  $F$  بیانگر نیرو و  $m$  بیانگر جرم و  $a$  بیانگر شتاب است.

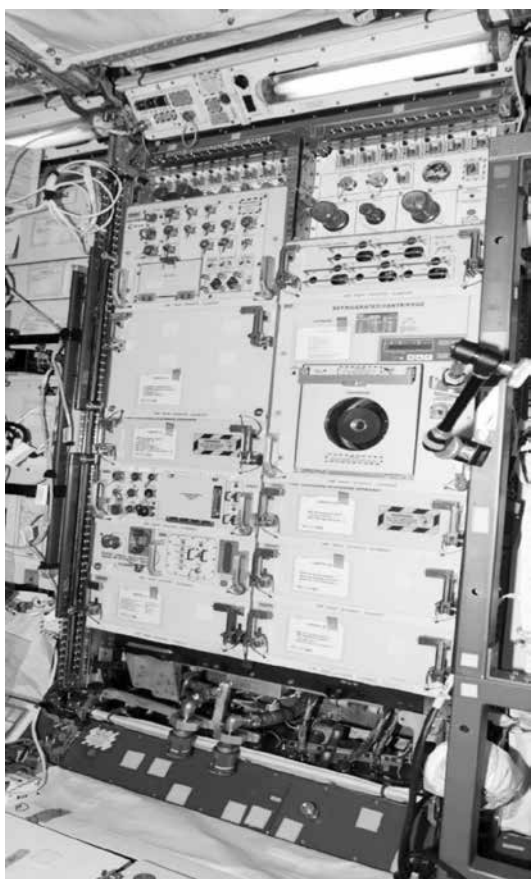
برای اندازه‌گیری جرم فضانوردان با اعمال یک نیروی ثابت که دستگاه به فضانورد وارد می‌کند و با توجه به مسیر حرکت‌شان شتاب را اندازه‌گیری می‌کنند و با فرمول نیوتن جرم به دست آورده می‌شود.

البته هوا هم کمی اصطکاک دارد که به صورت یک ضریب

قفسه‌های سیستم «اچ‌آراف\_۲» کاربردهای متعددی دارند. قسمت‌های کشور «اچ‌آراف\_۲» عبارتند از:

- کامپیوتر قابل حمل (لب تاب) «اچ‌آراف\_۲»
- دو کشوی خنک‌کننده‌ی «اچ‌آراف\_۲»
- کشوی APU
- سیستم عملکرد رویی
- ایستگاه کار\_۲ در قفسه‌ی «اچ‌آراف\_۲»
- سانتریفیوژ یخچال‌دار

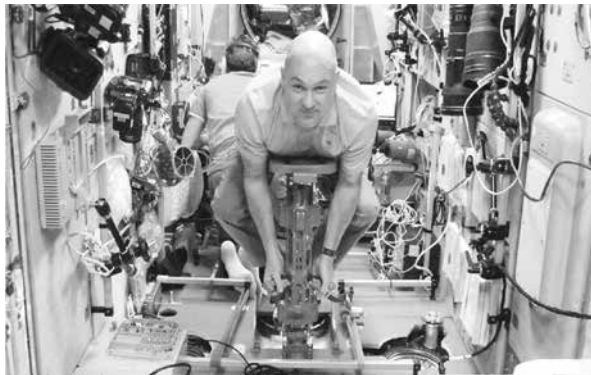
در ادامه بعضی کشورهای «اچ‌آراف\_۲» را به صورت مختصر توضیح می‌دهیم.



تصویر ۴. قفسه «اچ‌آراف\_۲»

برای نصب نرم‌افزار و پشتیبانی از آزمایش‌ها، برای کنترل تجهیزات پزشکی، برای جمع‌آوری و ذخیره داده‌ها، یادداشت خدمه، و یادداشت‌های تجهیزات؛ استفاده می‌شود.

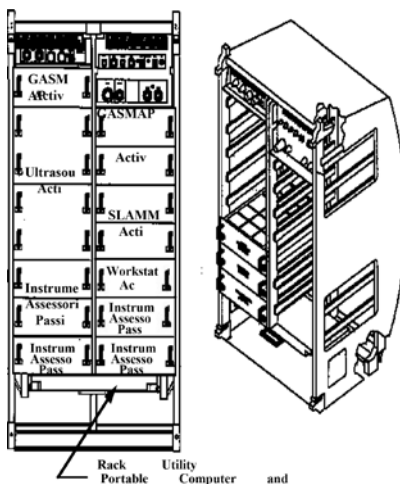
این دستگاه را می‌توان با اندازه‌گیری دور نوسان چند جرم مشخص و محاسبه مقدار ثابت فنر مدرج کرد. سپس می‌توان با اندازه‌گیری دور نوسان فضاورد جرم آن را محاسبه کرد. در واقع در این روش برای به دست آوردن جرم از یک مفهوم فیزیکی متفاوت به نام حرکت نوسانی ساده استفاده شده است. البته این دستگاه در قفسه «اچ‌آراف\_۱» قرار ندارد.



تصویر ۲. فضاورد در حال استفاده از دستگاه اندازه‌گیری جرم بدن

### اجزای جانبی قفسه «اچ‌آراف\_۱»

اجزای جانبی قفسه «اچ‌آراف\_۱» شامل: کیت‌های جمع‌آوری نمونه، یک دستگاه فشار خون، یک رابط پا با کف زمین و یک دستگاه ایجاد فشار منفی در اندام تحتانی است.



تصویر ۳. کشورهای «اچ‌آراف\_۱»

تصویر ۳. نمایی از کشورهای «اچ‌آراف\_۱» دیده می‌شود. نام هر کشو و فعال و غیر فعال بودن آن‌ها در شکل نمایان است.

قفسه «اچ‌آراف\_۲»

قفسه «اچ‌آراف\_۲» (تصویر ۴) به خدمات ویدئویی متصل است که به خدمه عملیات زمین و «آی‌اس‌اس» اجازه می‌دهد تا محموله‌ها را کنترل کنند. پنل جلو پورت دسترسی به لپ‌تاپ، مکش، محموله مستقر و سیستم تحویل نیتروژن را ممکن می‌سازد.



تصویر ۷. ایستگاه کاری\_۲



تصویر ۵. کامپیوتر قابل حمل «اچ آر اف\_۲»

### دو کشوی خنک کننده «اچ آر اف\_۲»

این کشوها برای تجهیزاتی که در حال انجام وظایف خود هستند، از طریق بهبود گردش هوا در قفسه موجب حذف حرارت ایجاد شده، می شود.

#### کشوی APU

این کشو برای دستگاه شناسایی فرکانس رادیویی ساخته شده است که در آن قابلیت اتوماتیکی بدون دخالت خدمه وجود دارد. این کشو همچنین برق و قابلیت های اتصالات در پنل جلو برای تجهیزات مورد نیاز به نصب کردن را فراهم می سازد.



تصویر ۶. دستگاه شناسایی فرکانس رادیویی است.

در زمینه فیزیولوژی تنفسی، شامل تجزیه و تحلیل گازها و ماژول های تحویل دهنده به منظور تعیین ویژگی های عملکرد ریوی برای تحقیق و عملیات های پزشکی است. این دستگاه مشترک توسط آژانس فضایی اروپا ایسا و ناسا تولید شده و با قسمت مرکز تحقیقات انسان «اچ آر اف» در ایستگاه بین المللی فضایی تطبیق داده شد.

این سیستم مبتنی بر تحلیل گر صوتی\_تصویری (فوتو آکوستیک) است که با استفاده از ماژول تحلیل گر فوتو آکوستیک، ماژول عملکرد ریوی و سیستم تحویل گاز کار می کند. هنگامی که ماژول عملکرد ریوی با تحلیل گر فوتو آکوستیک و سیستم تحویل گاز کار کند، قادر به اندازه گیری بسیاری از پارامترهای قلبی عروقی و تنفسی، از جمله ظرفیت ریه و برون ده قلبی است.

سیستم عملکرد ریوی قابل حمل نیز برای تجزیه و تحلیل گاز سوخت و ساز بدن جهت اندازه گیری هر دو فعالیت اوج و برون ده قلبی استفاده می شود. این سیستم با استفاده از دو نوع فناوری به تجزیه و تحلیل گاز می پردازد. برای دی اکسید کربن، فرون\_۲۲ و گاز هگزا فلوراید گوگرد، روش فوتو آکوستیک از تجزیه و تحلیل گاز استفاده شده است. در این روش، نمونه های گاز در معرض نور مادون قرمز متناوب قرار گرفته شده است. نمونه گاز، نور و نتایج انرژی جذب شده موجب افزایش فشار به وسیله حرارت دادن می شود.

دو نوع آنالیزور گاز وجود دارد که یکی بر اساس اسپکترومتری توده و دیگری بر اساس تکنیک مادون قرمز، گاز را آنالیز می کند. سایر تجهیزات اضافی که امکان آنالیز بیش تر رو فراهم می کند، شامل موارد زیر است:

- اندازه گیری تنفس به تنفس مقدار حجم اکسیژن و حجم دی اکسید کربن
- اندازه گیری توان انتشار ریوی دی اکسید کربن
- حجم باقی بازدمی

### ایستگاه کاری\_۲ در قفسه «اچ آر اف\_۲»

محموله های درون قفسه «اچ آر اف\_۲» می توانند به طور مستقل از یکدیگر و یا به شکل های مختلف صرف نظر از این که آن ها نیاز به خنک کننده های قوی و برق دارند؛ در کنار هم به کار گرفته شوند. مبدل برق ایستگاه کاری\_۲، ولتاژ ۱۲۰ ولت و جریان مستقیم دی سی ارائه می دهد و می تواند آن را تبدیل به ۲۸ ولت برای توزیع به محموله بکند.

### سیستم عملکرد ریوی

سیستم عملکرد ریوی را به اختصار «پی اف اس» و سیستم قابل حمل آن را «پی پی اف اس» می نامند؛ این سیستم ابزار دقیقی

شده در ریه متناسب است. اندازه‌گیری تبادلات گازی می‌تواند برای تعیین برون‌ده قلبی به کار برده شود. جهت مقایسه میزان مصرف اکسیژن در فضا با زمین، از فضانوردان درخواست شد تا با حداکثر توانشان ورزش کنند، در همین حال میزان مصرف اکسیژن آن‌ها در مدار اندازه‌گیری شد که مشخص شد با مقدار مصرف اکسیژن قبل از پرواز متفاوت نیست (تصویر ۸ و تصویر ۱۰). این موضوع نشان داد که حداکثر توان ورزشی که انعکاسی از حداکثر ظرفیت سیستم کاردیو واسکولار است، در طول پروازهای فضایی کوتاه مدت به خوبی حفظ می‌شود. در نتیجه، به نظر می‌رسد از دست رفتن حجم مایع و تغییرات قلب یک سازش طبیعی در بدن انسان است. این سازگاری به جای یک پاسخ پاتولوژیک، فیزیولوژیک بوده و به نظر نمی‌رسد که با نقص در عملکرد قلب یا ریه همراه باشد.

ادامه دارد...

#### منابع

- 1- Afonin BV. Analysis of possible causes of activation of gastric and the pancreatic excretory and incretory function after completion of space flight at the international space station. *Human Physiology*. 2013 October 11; 39(5): 504-510.
- 2- Bacal K, Frey BM. Selection of Medications for the International Space Station: The Space Medicine Patient Condition Database. *Journal of Pharmacy Practice*. 2003 Apr; 16(2): 91-95.
- 3- Basner M, Dinges DF, Mollicone DJ, Savelev I, Ecker AJ, Di Antonio A, Jones CW, Hyder E, Kan K, Morukov BV, and Sutton JP. Psychological and behavioral changes during confinement in a 520-day simulated interplanetary mission to Mars. *PLoS One*. 2014. March 27; 9(3):e93298.
- 4- Beaton-Green L, Lachapelle S, Straube, Wilkins RC. Evolution of the Health Canada astronaut biosimetry program with a view towards international harmonization. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2015 November; 793: 101-106.
- 5- Beven, Holland, Sipes. Psychological Support for U.S. Astronauts on the International Space Station. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2008; 79(12): 1124.
- 6- Bogomolov VV, Castrucci F, Comtois, Damann, Davis JR, Duncan JM, Johnston SL, Gray GW, Grigoriev AI, Koike, Kuklinski, Matveyev, Morgun VV, Pochuev, Sargsyan AE, Shimada, Straube, Tachibana S, Voronkov YI, Williams RS. International Space Station Medical Standards and Certification for Space Flight Participants. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2007 December 1; 78(12): 1162-1169.
- 7- Bogomolov VV, Grigoriev AI, Kozlovskaya IB. The Russian experience in medical care and health maintenance of the International Space Station crews. *Acta Astronautica*. 2007 February; 60(4-7): 237-246.
- 8- Casaburri A, Gardner C. Space food and nutrition (an educator's guide with activities in science and mathematics). Houston, Texas: National Aeronautics and Space Administration (NASA); 1999. ISBN 13: 9781515055525. Available at: <http://spacelink.nasa.gov/products>.
- 9- Clement G, Ngo-Anh JT. Space Physiology II: Adaptation of the Central Nervous System to Space Flight - Past, Current and Future Studies. *European Journal of Applied Physiology*. 2013 Jul; 113(7): 1655-1672.
- 10- Clement G. *Fundamentals of space medicine*. Dordrecht/B. London: Kluwer Academic; 2003.

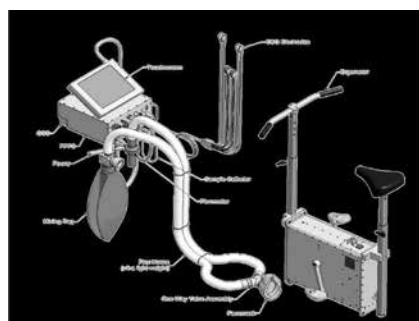
- اسپرومتری بازدمی
- ظرفیت باقیمانده ریوی
- نسبت مبادله ریوی
- حجم باقیمانده
- مجموع ظرفیت ریوی
- حجم ریوی
- تهویه ریوی
- ظرفیت حیاتی
- حجم خون مویرگ‌های ریوی
- تهویه فضای مرده
- بازده قلبی



تصویر ۸. فضانورد توماس رائتر به وسیله سیستم عملکرد ریوی در حال اندازه‌گیری اکسیژن است.



تصویر ۹. فضانورد ایسا فرانک د وین همراه با سیستم عملکرد ریوی قابل حمل و بسته‌بندی آن



تصویر ۱۰. دستگاه "پی‌پی‌افاس" تکامل یافته سیستم عملکرد ریوی "پی‌افاس" است.

از آن جایی که حجم خونی که از ریه می‌گذرد با مقدار خونی که از قلب خارج می‌شود (برون‌ده قلبی) مساوی و با مقدار گاز تبادل