

2017 年国外航天员系统发展综述

2017 年，国际空间站 (ISS) 第 50~53 长期考察组执行驻站任务，驻站乘员借助独特的微重力实验室协助完成了 120 多项美国的新研究项目，为今后的深空探索和改善地球生活做准备。为迎接未来更长期的航天飞行和深空探索，美俄加开始选拔补充新一批航天员新生力量，NASA 人体研究计划继续在这方面开展研究，并发布一年期任务和双胞胎研究的最初研究结果，此外，不同地点不同长时的系列地面模拟试验也分别在美俄欧深入展开。

一、美俄加为未来空间任务补充航天员新生力量

(一) NASA 公布新一批预备航天员名单

2017 年 6 月 8 日，NASA 在位于休斯顿的约翰逊航天中心宣布了新一批预备航天员人选。这些预备航天员是从 2015 年 12 月至 2016 年 2 月期间提交申请的 18300 名候选人中选出的，共计选出 12 名航天员，其中包括 7 名男性和 5 名女性。这是 NASA 自 2000 年以来选出的最大规模班底，也是 NASA 团队以及美国载人航天团队的重要补充力量。

8 月，这批预备航天员入驻约翰逊航天中心，开始完成飞船系统、舱外活动技能、团队协作、俄语和其他必要技能的训练。预备航天员完成两年的培训后，将乘坐商业飞船从美国本土发射升空前往国际空间站执行任务，未来，他们还将乘坐 NASA 新的“猎户座”飞船和航天发射系统 (SLS) 执行深空任务，去探索更为广阔的太空。随着这 12 名成员的加入，NASA 自 1959 年选拔 7 名

航天员起，截至目前已共计选拔 350 名航天员。

(二) 俄罗斯启动新一轮航天员选拔工作

2017 年 3 月，俄罗斯航天国家集团公司宣布公开选拔新一轮航天员，旨在为“联邦”号新型载人飞船执行国际空间站和月球任务选拔航天员。参选者将通过包括教育和专业资格选拔、体检、心理素质评估和体能测试等多个选拔阶段。参选者必须是俄罗斯公民，年龄不超过 35 岁，具备工程、科学或飞行专业的高等教育学历并具有工作经验。具有俄罗斯航空和火箭航天工业领域工作经验的人员享有优先权。此外，申请人还必须具有空间技术研究能力、会使用计算机、懂英语，但在性别和种族上没有限制条件。

此次选拔将是俄罗斯航天员大队第 17 次选拔。上一次选拔在 2012 年。此次选拔的特点是开放的，申请人不局限于军人飞行员和火箭航天部门的工作人员，预计最后选拔 6~8 人。

(三) 加拿大航天局新增两名航天员

2017 年 7 月 1 日，在加拿大举行的国庆第 150 周年活动中，总理贾斯汀·特鲁多宣布了加拿大航天局第四次航天员选拔结果：珍妮·赛迪和约书亚·库特里克加入加拿大空间探索者团队，他们分别是加拿大航天局的第十三和第十四位航天员。加拿大航天局的这次选拔历时一年，有 3772 人报名，他们二人从最后的 17 名候选人中胜出。

珍妮·赛迪博士，1988 年 8 月 3 日出生于阿尔伯塔省的卡加利，2011 年获得位于蒙特利尔的麦吉尔大学数学工程学士学位，在麦吉尔大学期间，与加拿大航天局以及国家研究委员会飞行研究实验室合作开展了火焰在微重力中蔓延的研究。后来到英国剑桥大学学习，专攻燃烧，并于 2015 年获得工程学博士学位。

约书亚·库特里克中校，1982 年 3 月 21 日出生于阿尔伯塔省的萨斯喀彻温港市，自 2000 年至今在加拿大武装部队服役。2004 年获加拿大皇家军事学院机械工程学士学位，2009 年获得安柏瑞

德航空大学空间研究硕士学位，2012 年获得美国空军航空大学飞行试验工程硕士学位，2014 年获加拿大皇家军事学院防御研究学硕士学位。在加入加拿大空间计划之前，他是 CF-18 战斗机试飞员。约书亚·库特里克曾于 2009 年参加过加拿大航天员选拔，是前 16 位候选人之一。

这两位新入选的航天员同期加入 NASA 2017 年航天员训练班，并于 8 月到 NASA 约翰逊航天中心开始为期两年的预备航天员训练。

(四) 阿联酋启动首个航天员选拔计划

2017 年 12 月，阿联酋副总统兼总理、迪拜酋长阿勒马克图姆宣布启动首个航天员选拔培训计划，要在 5 年内把 4 名阿联酋航天员送往国际空间站。

这个海湾富油国此前就已宣布了其雄心勃勃的航天计划，要在 2021 年发射称为“希望”的火星探测器，成为首个把无人探测器送往火星的阿拉伯国家。新启动的航天员选拔计划将会让其成为中东少数几个有人上天的国家之一，从而兑现其“要在未来 50 年成为太空探索领域全球领先者”的誓言。阿联酋的远期目标是要在 2117 年前在火星上建立一座“科学城”，并在那里建设首个人类定居点。

最早进入太空的阿拉伯人是沙特亲王阿勒沙特。他于 1985 年搭乘美国航天飞机上天。两年后，叙利亚空军飞行员穆罕默德·法里斯在苏联的“和平”号空间站上度过了一个星期。

此次申请参选阿联酋航天员的人员将通过严格的选拔，入选者还要接受数月的培训，最终从中选出 4 人。

二、人体研究计划取得多方面研究进展

(一) NASA 发布一年期任务和双胞胎初步研究结果

2017 年 2 月，NASA“人体研究计划”年度学术研讨会上，研

究人员发布了国际空间站一年期任务和双胞胎研究的初步研究成果。

1. 一年期任务研究初步结果

雅各布·布鲁姆伯格发布了“功能任务测试”的一些研究成果，该实验测量未来火星任务着陆后航天员执行任务的能力。实验发现，乘组在执行需要姿态控制和稳定、肌肉灵巧的任务中，遇到了很大的困难。但是其他大部分测试并没有显示6个月任务和一年任务之间有实质性的差异，未来还需要进行更多的被试测试来证实这个结论。

米勒德·雷施克和伊涅沙·科兹洛夫斯卡娅发布了飞后恢复的“地面测试研究”。研究发现，尽管在太空呆了相同的时间，两位一年期任务航天员的绩效和恢复却非常不同。这些差异可能是飞前训练和经验的水平造成的。这些发现提出，地面重力环境下的训练值得关注。

迈克尔·斯滕格进行了“视觉损伤颅内压”研究。一些空间站航天员曾报告飞后出现视力问题，原因至今不清楚。一年期任务中的一名航天员出现了视力问题，包括视神经乳头水肿、脉络膜皱褶和屈光度改变，随着任务的延长一些症状开始变得更加严重；而另一名一年期任务航天员在飞行的前6个月里没有症状，只是到任务临近结束时才开始出现一些眼部变化，这表明在太空停留时间的长短可能会影响眼睛。

克里蒂娜·霍顿的研究关注的是长期微重力导致的“精细运动技能”绩效变化，这些变化可能会影响未来乘组登陆行星表面后，执行基于计算机的设备操作的精确性。本研究使用 Apple iPad，包括4个类型的精细运动任务：点击、拖拽、形状描绘和夹点旋转。初步结果显示，在向重力过渡期间，精确性降低和反应时间延长。

劳拉·巴杰开展的空间站“睡眠-警醒周期”发现，与较短期

空间站任务相比(2004—2011 年乘员平均睡眠时间 6.1 小时), 一年期乘组平均睡眠持续时间较长, 即 7.1 小时。有几种因素可以改善睡眠: 包括改进国际空间站建造期结束后的时间表设置、减少工作轮换改变, 以及改变照明工作负荷。巴杰提出, 在未来计划的一年期任务中, 还需要进行睡眠评估, 这是因为只有两位航天员被试, 并不能为确定的睡眠预测提供足够的数据。

蕾切尔·赛德勒的研究聚焦于“神经认知功能”和“神经映射”。该研究发现, 尽管一年期任务飞后恢复较慢, 但是一年期任务被试出现的活动性改变与 6 个月任务被试差不多。除了类似的行为改变之外, 较长期任务飞行被试出现处理前庭(内耳)输入的大脑区域数量增加。

2. 双胞胎初步研究结果

集成组学研究科学家迈克·斯奈德称, 斯科特(飞行)的一组脂质水平发生改变, 这表明出现了炎症反应。此外, 马克(地面)体内的 3-吡啶丙酸(IPA)增加。这种代谢物是由肠道细菌产生的, 目前正在研究将其作为潜在的大脑抗氧化治疗手段。IPA 也可以帮助维持正常的胰岛素活动, 对饭后血糖进行调节。

苏珊·贝利的研究集中在端粒和端粒酶。目前已经了解, 端粒长度随着年龄减少。有趣的是, 在一年期任务时间内, 贝利发现在斯科特的端粒在白细胞染色体两端的长度增加, 这可能与任务期间增加锻炼和减少热量摄入有关。然而, 在他返回地球之后, 长度又开始缩短。有趣的是, 11 月, 两位双胞胎兄弟的端粒酶活性(可以修复并增长端粒的酶)增加, 这可能与当时发生重要的有压力的家庭事件有关。

马赛厄斯·巴斯内尔开展了“航天飞行中的认知绩效”研究, 该研究观察认知绩效, 特别是 12 个月任务与 6 个月任务的差异。一年期任务后, 马赛厄斯发现任务后速度和准确率略微下降。然而, 总的来说, 数据还不足以支持任务持续时间从 6 个月延长到

12 个月相关的飞行中认知绩效的变化。

斯科特·史密斯进行的生物化学剖面研究显示，在斯科特后半段任务期间，骨形成下降。同时，通过观察 C 反应蛋白水平（广泛作为炎症的生物化学标记），发现在着陆后不久有炎症激增，这可能与再入和降落的压力有关。在一年期任务期间，应激激素皮质醇在低正常值水平，但 IGF-1 的激素水平增加。分泌这种激素表示骨骼和肌肉健康，这可能受到了飞行期间高强度锻炼对抗措施的影响。

弗雷德·塔瑞克开展研究的重点是“消化道的微生物”——人体为帮助消化自然产生的“小生物”。在各个时间点上双胞胎体内产生了明显不同的病毒、细菌和真菌微生物，然而，这可能是他们不同的饮食和环境造成的。令人感兴趣的是，观察到斯科特在地面与在太空时相比，微生物物种存在差异。他的消化道出现两个占主导地位的细菌组（例如厚壁菌门和拟杆菌门）比例发生变化。在飞行期间一组相比另一组的比例增加，返回地球后又回到飞前水平。

以马内·米格诺开展了免疫组研究，观察双胞胎兄弟接种流感疫苗前后的身体改变。接种流感疫苗后，产生了“个性化”T 细胞受体。这些独特的 T 细胞受体在双胞胎兄弟体内都发生增加，这是防护流感感染预期的免疫反应。

克里斯·梅森对这对双胞胎白细胞内的 DNA 和 RNA 进行了基因组测序。全基因组测序已经完成，显示双胞胎兄弟每位都有数百个独特的基因突变，这是正常的变异。RNA（转录组）测序显示，两位兄弟之间超过 20 万个 RNA 分子存在表达差异。他们将会更深入的观察是否斯科特在太空时激活了“太空基因”。

安迪·范伯格开展了基因组学，或者环境调节基因表达的研究。在斯科特的白细胞 DNA 内，他发现飞行中甲基化水平或 DNA 化学修改减少——包括基因调节端粒，返回后又恢复正常。

在地面上，马克的白细胞 DNA 的甲基化水平在研究中期增加，但是在末期又恢复正常。观察到双胞胎的甲基化模式不同，然而，飞行期间斯科特的表观遗传的噪声轻微增高，返回地球后恢复到基线水平。这些结果表明，无论在地球还是在太空，基因对环境变化更为敏感。

(二) 空间辐射项目完成辐射对认知功能影响的研究

由凯瑟琳·戴维斯博士和罗伯特·海因茨博士率领的约翰霍普金斯医学院的神经行为研究小组，评估了长期太空探索期间辐射暴露对航天员的可能影响。为了确定这种辐射对航天员认知功能和中枢神经系统(CNS)的可能影响，戴维斯和海因茨已经开发了一种常用的、可以反映人体反应的动物模型，即啮齿动物的精神运动警惕测试。这项测试目前被航天员用于国际空间站，称为“自我反应测试”(PVT)，它被用于评估目前的警戒、注意力和精神运动速度。

研究表明，在暴露到空间辐射离子情况下，与任务有关的质子、铁离子或硅离子，可以明显地损伤认知功能，表现为注意力失效增加和正常反应时间减慢。重要的是大鼠的个体辐射敏感性有所不同——也就是说，一些大鼠对辐射敏感，而另一些则显示出更强的辐射效应。这种对辐射认知效应的敏感性差异，与仅在放射敏感受试者中看到的 CNS 多巴胺系统和与神经递质功能相关的蛋白质水平变化有关。

这种综合、灵活的航天员绩效动物模型的发展，为其他领域的临床前研究提供了一个有用的工具，例如，睡眠和时间生物学、神经精神障碍、衰老和认知增强。在进行的研究中，戴维斯和海因茨医生研究生物医学的对抗措施，这些防护措施可以保护或减少空间辐射对人类认知功能的影响，并可以研究空间辐射对睡眠、疲劳和日常昼夜节律的影响。

(三) 乘员健康防护措施项目进行了各种飞行和地面研究

1. 探索由航天飞行引起的眼、脑和心血管系统的变化

体液转移实验比较了飞行前、中、后体液的分布，并确定心血管系统和眼对航天的适应性。它还研究了下体负压在暂时逆转或减少失重时体液头向转移对血管和眼的作用。为了研究体液转移和二氧化碳升高对脑生理的影响，并检验新的德国航空航天中心(DLR)卧床实验设施，美国国家空间生物医学研究所(NSBRI)推出了一项名为SPACE-COT的国际性研究：研究二氧化碳和卧床对脑生理和结构的影响。此研究旨在观察体液头向转移和CO₂升高对脑生理和功能的影响。此研究小组由10个独立的机构和公司组成，利用核磁共振成像(MRI)技术和新的可携带技术，测量了8名健康中年男性被试者28小时内体液头向转移和CO₂升高对脑、眼、心脏、肺和认知功能的影响，这种便携式技术有利于航天中使用。该研究按时和按预算完成，收集到95%的预期数据。MRI分析表明，头低位6°倾斜(HDT)降低脑内血流量；但是，与预期相反，HDT与轻度升高的二氧化碳联合作用，改善了血液流动，并且提高了单独HDT作用时的认知能力。单独的HDT或HDT加升高的二氧化碳作用，没有出现ICP或眼结构的显著变化。

眼部健康研究记录了飞行期间和飞行后眼结构和功能变化的时间过程，并试图了解这些变化对眼部健康的影响。

心脏Ox研究观察了长期航天飞行对动脉结构和功能的影响，并确定它们是否与氧化和炎症引起的应激变化有关。心脏Ox不仅观察了飞行期间和飞行后即刻航天员的血管适应性，也是首次监测航天员长期航天飞行后5年中血管的健康状态。其研究结果与相关的地面研究和以前工作的结果联合在一起，可以进一步了解长期航天和航天后对心血管系统的影响，并对于今后探险任务中

的风险有进一步的了解。

2. 深入了解运动模式对脑-眼血液动力学和压力的影响

中度和高强度的有氧和阻力运动，十分明确是有利于心脏、肌肉和骨骼健康的，但是，这种运动（如减轻或加大运动量）对于航天飞行期间诱发的颅内高压和视力变化的影响是未知的。鉴于有氧和阻力运动是长期飞行中使用的重要对抗措施，确定运动模式对头、眼血流和压力的影响至关重要。2016 年，约翰逊航天中心运动生理学和对抗措施实验室的杰西卡·斯科特博士领导的一项研究表明了三种运动对头部和眼部血流和压力影响的特征。

在每次测试期间，被试者仰卧 10 分钟，然后将其置于 15° HDT 中 10 分钟，之后在 15° HDT 下进行运动。使用超声技术评估头部血液的流入和流出。还使用了几种新技术，其中包括用手持 3D 成像工具来测量 HDT 引起的面部肿胀、用隐形眼镜连续测量眼压 (IOP) 以及用超声波工具非侵入性地测量颈静脉压。

初步结果表明有几个独特的发现。首先，3D 成像工具可以准确地评估体液头向转移，它是一种有前途、可使用在太空的简单工具。安德森癌症中心的研究者使用此工具在甲状腺眼病和眼眶肿瘤患者中创建了动态眼球突出的 3D 模型。第二，使用 Triggerfish[®] 隐形眼镜首次测量运动时的眼压。因此，Triggerfish 可以用来评估航天员执行日常任务时的眼压。第三，获得的运动对头部和眼血流、压力影响的信息，可能用于优化航天员在探索任务时的运动对策，以防止颅内压的增高。

3. 完成手动控制研究：飞行后感觉运动紊乱的影响

航天飞机计划的证据表明，即使短期暴露于微重力环境下，也会影响航天员驾驶航天器的能力。这对于未来探索任务来说是一个关键问题——长时间的暴露在失重环境下，对航天员着陆和执行其他飞行后任务的能力有多大的影响。由芒特西奈伊坎医学院斯蒂斯·摩尔博士和阿兹塞太平洋大学斯科特·伍德博士领导

的小组，在 JSC 进行了一项联合研究，通过评估国际空间站上飞行 6 个月后航天员执行全动态模拟的能力，以及完成一组感觉运动和认知功能任务的能力，来回答这个问题。

观察到 8 名航天员从国际空间站返回后 24 小时内操作能力出现明显下降。与飞行前的绩效相比，驾驶模拟汽车时保持车道位置的能力明显受损。在 6 名航天员中，模拟驾驶 T-38 喷气式飞机着陆的能力受损，其中包括在跑道进口处出现一次碰撞。在模拟火星漫游者对接操作性能的可变性也显著增加。对照组和睡眠剥夺 30 小时一组没有出现明显改变，表明航天员中出现的变化是由于航天飞行引起的。

航天员返回的那一天，他们在认知和感觉运动表现方面有微妙而明显的变化。手动灵敏度和倾斜感知能力减弱，表明飞行后运动功能和感知功能下降。虽然跟踪移动目标的功能不受影响，但会明显降低分散注意力任务的绩效，表明在面对多种任务时，会出现缺乏认知准备。对照组和缺乏睡眠组没有观察到这些变化。

在着陆后大约 4 天，所有任务的绩效恢复到基础水平。总而言之，结果表明航天引起的微妙生理变化让航天员在着陆当天绩效下降。建议采取的对抗措施包括“及时”培训、安装显示航天器倾斜的显示器、在尝试挑战性任务之前自我评估体质，以及限制涉及手动控制的多种任务。

4. 飞行前训练可能有助于减轻航天飞行期间的空间失定向

NASA 确定了今后航天员乘坐航天器，如“猎户座”多用途乘员飞行器(MPCV)，在返回地球大气层存在的潜在风险。其潜在风险是由于控制头晕或恶心症状的药物并非对所有乘员都有效，而且可能导致不利的副作用。

艾姆斯研究中心帕特里夏·考林斯博士负责的研究，试图确定是否可通过 6 小时生理训练程序，称为自动反馈训练(AFTE)，帮助航天员适应航天飞行和返回地球的再适应。

20 名被试者被随机分为对照组或 AFTE 组，被试者按性别和对运动病易感性进行匹配。记录的生理指标有：心率(HR)、呼吸、手臂和腿的肌肉活动、皮肤电阻、血压、外周血流量、心输出量和每搏量。使用标准的旋转椅试验来评估所有被试者的运动病敏感性。然后，被试者每周一次在转椅上进行 4 次模拟“猎户座”再入试验，以及 3 次手动执行任务。此外，一些被试者在模拟“猎户座”返回测试前，给予 AFTE 训练。使用标准的诊断标准来评估所有被试者运动病症状的严重程度。

结果表明，4 小时的 AFTE 可以明显降低被试者在模拟“猎户座”返回期间的运动病症状。在第三次和第四次“猎户座”模拟期间，与对照组比，AFTE 被试者能够保持较低的 HR 值和更恒定的呼吸率和容积。对照组在所有模拟中显示较高的呼吸率。趋势表明，AFTE 被试者绩效降低较少。此项研究的结果和早期 AFTE 的研究表明，飞行前进行至少 4 个小时的训练对航天员是有利的，在任务期间，他们可以使用小型移动反馈设备来进行生理性的自我调节。

5. 数字航天员项目提供“猎户座”运动量评估

2016 年，数字航天员项目(DAP)进行了运动量分析，以评估乘员是否能够在相对有限容积的“猎户座”探测任务飞船内进行有氧和阻力运动。使用生物力学模型和从地面和抛物线飞行获得的数据，DAP 小组分析了阻抗运动，其中包括男性在第 99 和第 50 百分位数时的垂直体位划船、俯身上拉、肩膊推举、下蹲、高翻、单索推力和硬拉。该小组利用男性第 50 百分位数生物力学模型分析 0G 环境下的有氧划艇运动。

最初的评估是执行阻抗锻炼第 99 和第 50 百分位的男性，如果运动的方向是面向飞船的尾部，并且脚踏板可以使锻炼者运动时处于允许的容积内，这种情况下大多数的运动可以在此容积下进行。对于进行有氧划艇运动第 50 百分位的男性被试者来说，当

运动者面向飞船前部的方向时，运动保持在容积最小干扰的范围内。

操作容积的进一步评估于 2017 年在 ISS 上使用小型运动装置 (MED2) 来完成。这些数据将用于建模，并将用于“猎户座”首次飞行任务的初步设计评估。

(四) 探索医学能力项目继续发展和推进确保乘员健康和绩效所需的医疗技术

1. 灵活的超声波系统为探测任务提供附加功能

灵活超声系统(FUS)是一项技术开发项目，可为未来探索任务中的乘员提供医学成像。超声是目前最好的内部成像方式，这是因为它是便携式的，消耗的功率比其他方法少，而且没有电离辐射。ISS 上的乘员可以使用优良的超声波设备，但仍然无法满足 NASA 对医疗成像的全部需求。

FUS 可以通过使超声波超出其典型应用范围来提高医疗能力。它既是最先进的临床超声波扫描仪，也是创建新型超声方法的开发平台。它可以在深空探测的恶劣辐射环境中生存，故也是创造可靠超声设备的途径。

通用电气公司全球研究中心向格林研究中心和 NASA 交付了三个 FUS，建立了贷款协议，使 FUS 可用于先进超声模式的开发。这些 FUS 可以作为华盛顿大学、石溪大学研究团队和休斯敦 KBRwyle 的开发平台。

使用 FUS，研究人员现在可以开发新的扫描方法和治疗方法，以满足长时间航天飞行的独特挑战，在此同时保持传统的临床级超声波。FUS 项目将最终证明，许多不同的新型超声波模式可以集中在单个扫描仪上，同时还可以为探测任务期间的乘员提供最先进的传统模式。

2. 使用定量超声波评估骨和骨折愈合能力

肌肉骨骼的退化和相关的并发症，如骨质减少和应激性骨折，

对长期飞行航天员构成重大威胁。骨结构和强度是骨骼组织对抗骨折的关键。这些骨紊乱的早期诊断可以大大降低骨折的风险，对长期飞行航天员的健康是有益的。

无创评估骨小梁的强度和密度对于预测空间骨折的风险极为重要。定量超声具有直接检测骨小梁强度的潜力，NSBRI 资助了石溪大学的秦毅贤(Qin Yixian)博士来解决这些问题。

秦博士开发了一种基于图像的共聚焦扫描声学导航(SCAN)系统，它可以提高诊断骨质疏松症的分辨率、灵敏度和准确性。此外，还开发并展示了一种使用超声波加速骨折愈合的系统。他当前的工作是努力开发一种结合成像和治疗能力的便携式快速扫描系统，集成到 FUS 中，进行空间无创骨丢失评估。

3. 射频识别 (RFID) 技术提高在轨医用耗材的追踪

ISS 提供医疗设备和消耗品，用于治疗急性和创伤性损伤。跟踪这些医疗用品是困难和耗时的，由于提供消耗品的资源多于报告的资源，导致任务后医疗工具包被带回地面。这对于 ISS 来说不是一个问题，因为可以经常得到补给；但是，在星际探索任务期间，不可能频繁的补给。为了应对这一挑战，在国际空间站进行了一项研究，以确定是否可以更有效地追踪这些消耗品。

医用耗材追踪(MCT)系统使用由 RFID 读取器和 RFID 应答器或标签组成电子识别系统，可以读取和写入数据，以跟踪药物和医疗耗材。系统发送无线电信号，该无线电信号由附在每个物品上的 RFID 标签读取。标签发送自己的信号，由系统注册，记录哪些耗材被消耗。

4. ExMC 为航天研究开发多个数据库和应用工具

随着太空探索任务医疗系统的发展，评估医疗和其他航天器资源之间的能力，对于确保这些任务期间提供足够的医疗保健至关重要。ExMC 开发了 MONSTR 数据库，用于识别各种与探索任务相关医疗条件所需的医疗资源。ExMC 将使用 MONSTR 来划分

研究的前后次序、开发医疗系统的资源以及量化风险分析。

2016 年, ExMC 也开始发展其操作概念(ConOps)。目前的 ConOps 文件将有助于火星探测任务综合医疗系统的规划、设计和原型设计。该文件有助于确定 NASA 如何在探索范式中为载人航天提供医疗保健, 并确定最大限度满足医疗需求的系统要求。

ExMC 与来自 BCM 的维吉尼亚·沃特林博士合作, 开发和使用剂量跟踪器, 它是一种原生的 iPad 应用程序, 用于任务前、期间和之后记录乘员药物使用情况。该应用程序捕获了以前未记录的关于药物在航天中使用的数据, 其中包括症状、频率和药物副作用的严重程度。剂量追踪器从 2016 年开始收集资料, 将在 2020 年度继续收集数据。

(五) 空间人的因素和适居性项目继续照明效果和 多模式增强显示研究

1. 评估显示器和指示器光对航天器室内照明的影响

目前的 NASA 航天器标准和要求中, 并不限制光源(如显示器和指示器)对环境光谱的影响。由托尼·克拉克领导建模项目的目标就是确定这些光源如何影响操作环境, 并提出解决方案。

项目研究小组使用计算机模型和真实的照明模型来记录环境照明系统以外的光源对照明环境的贡献。该小组侧重于航空电子设备或计算机显示器附近光源对执行长期任务的影响, 然后分析采用改变环境光谱作为照明对抗措施的可能性。该项目使用各种基于物理和计算机的模拟来确定系统实施和光谱之间的直接关系。

对计算机模型和现实数据的分析表明, 航天器的结构和航空电子设备可以对到达视网膜光谱产生可测量的影响。当处于较小的操作区域包括高反射面, 不期望的光谱会增加。数据显示出设计技术可用于调整环境光谱, 使操作环境接近于更理想的光谱。这些发现对未来探索栖息地的设计是重要的。

2. 研究认为语音和音调报警比只有声调更有效

语音报警——使用口语而不是用音调来报警——在航空中被大量使用，并被推荐用于其他领域。在紧急情况下撤离时，声音和语音指令相组合的报警比单纯声音报警更安全，因为它有助于人们保持冷静，并可以提供有关撤离路线的额外信息。

在阿尼哥·桑德尔博士领导的研究小组研究了受控条件和载人探索模拟器(HERA)情况下的声音和语音报警。测量识别和觉察时间，并记录 HERA 参与者的评论。研究表明，语音报警比声音报警可以更快、更准确地被识别。重要的是在识别问题所在和相关细节的情况下，语音报警(包括细节)会提供更多优势。

目前，在 HERA 设施中大量使用本研究产生的语音报警。鉴于积极的结果，这些报警应该考虑用于当前的 ISS 和未来的空间探索，因为它们比单独的声音报警可以更快、更准确地被检测和识别。

3. 研究建议将听觉和视觉线索结合起来提高 EVA 和遥控机器人任务

在行星或月球表面进行探测时，可能需要航天员同时执行多个任务，预计通信时间会延迟，乘员可能会感觉输入减少或不存在，所有这些情况都会增加视觉的工作量，减少情境意识，并对航天员的绩效产生不利影响。NASA 艾姆斯研究中心的伊丽莎白·文策尔博士领导的研究人员，使用视觉和空间听觉模式评估了增强显示器的优势，作为在探索环境中提高表面出舱活动(EVA)绩效的潜在对策。

研究小组在模拟火星表面出舱活动，通过三种类型的显示来检查在执行一项定位任务时的绩效：3D 空间听觉导航系统、2D 北视地图以及视觉和听觉提示组合或双模式辅助。结果表明，双模式辅助可以使被试者更准确地判断方向和反应更快。

第二项研究是使用三种类型的对接辅助设备，模拟远程控制

漫游器与不同时间延迟和可见度条件下的表面栖息地的对接：二维视觉瞄准盘、听觉发音和组合双峰协助。结果表明可以使用所有三种类型的辅助设备进行准确的对接，并可以准确地确定如何增加控制响应延迟的减少和增加反应时间。

这些结果证明对于行星表面的定向、定位和对接等多种任务，整合的 3D 音频对 EVA 有潜在价值。当提供听觉线索的同时提供视觉信息时，诸如定向和定位等任务的双峰性能可以超过最佳单峰性能。

(六) 行为健康与绩效项目 (BHP) 重点研究睡眠和通信延迟问题

1. 昼夜节律失调影响航天飞行期间睡眠和药物的消耗

航天员在太空经常出现入睡困难和失眠，导致出现诸如疲劳、认知功能下降和决策能力受损等许多问题。许多原因可以引起这些睡眠问题，例如，对微重力的不适应、噪声、不舒服的温度以及不规律的作息。在地球上，每天明暗周期会促进人们在夜间睡眠，白天醒来；但是，空间站每 90 分钟绕地球转一圈，这种新的日出和日落周期需要人去适应，这些时间表和光照的快速变化会引起类似时差的症状。

NASA 艾姆斯研究中心的研究人员在艾琳·弗林-埃文斯博士的领导下，研究了 21 名在 ISS 上生活和工作的航天员。这些航天员在长期飞行任务期间，戴着便携式监视器，记录睡眠、警觉性和药物的使用情况。研究人员使用数学模型来确定航天员何时可能在偏离昼夜节律状态下睡眠。

研究发现，航天员在航天飞行中约有 20% 的夜晚与睡眠昼夜节律不同步。当他们在昼夜节律不同步的夜晚睡觉时，睡眠时间大约减少一个小时，并要服更多的药物来帮助他们睡眠。这些研究结果表明因为反应时间与觉醒、警惕和集中注意有关，采取一些措施保证航天员作息时间表和照明模式的稳定，可能使航天员

在航天飞行中获得更多的睡眠和消耗更少的安眠药。此举对于监测未来执行任务时个人幸福感和绩效可能是有用的。

2. 完成“ISS 反应自测”实验数据的收集

宾夕法尼亚大学大卫·丁格斯博士领导的“ISS 反应自测”实验，使用名为“反应自测”(RST)计算机程序，评估了 24 名 ISS 航天员 6 个月任务前、中、后的变化。RST 是一个简便的 5 分钟任务，使航天员能够在太空中监测疲劳对绩效的影响。对于此项研究，航天员自愿每 4 天进行一次早晚测试，同时在 ISS 任务之前和之后的几周内进行测试。

每次评估使用反应时间实验快速地确定航天飞行对行为、警觉性的影响。警觉性包括睡眠持续时间和质量、疲劳程度、压力和使用的药物。总计获得 2856 次 RST 评估报告，其中 2109 次是在轨报告，剩余的 747 次 RST 测试在飞行前后完成。

RST 数据显示，反应时间对 ISS 睡眠时间是敏感的，随着睡眠时间的减少，RST 评分下降。在工作日，航天员的睡眠时间通常为 5.5~6.5 小时，比周末睡眠时间少，且远远低于返回地球后的睡眠时间。

睡眠质量评分显示航天员的睡眠质量差，对于许多航天员来说，它往往与任务时间延长引起的身体疲惫、困乏和压力有关。航天员的 RST 绩效降低、睡眠时间减少和压力增加有明显的个体差异。总体而言，该项测试证明 RST 可以检测和跟踪航天飞行中航天员的重要神经行为变化。

3. SMARTCAP 基金帮助 LumosTech 研发调整昼夜节律的睡眠面罩

受 NSBRI 空间医疗和相关技术商业化协调计划(SMARTCAP)的资助，LumosTech 公司正在研制一种智能、可佩戴的眼罩，它可以改善太空中航天员的睡眠。

LumosTech 使用斯坦福大学概念验证研究成果，开发出一种

人性化的睡眠面罩，使用者在睡觉时，它可以发出短脉冲的光，调节昼夜节律时相。这种技术可以帮助航天员在没有自然光线的情况下优化睡眠时间表，也可以帮助地勤人员调整睡眠，并提高唤醒后的警觉性。该技术在睡眠期间是有效的，不会引起睡眠障碍，而且可以减少持续亮光疗法的副作用，如头痛和眼紧张。

在执行计划期间，瓦内萨·伯恩斯领导的研究小组开发了 30 种先进的睡眠面罩原型，并在昼夜节律紊乱的人中试验。具体来说，他们试验的对象是经常旅行至少 2000 英里的旅行者，它可导致大约 3 个小时的昼夜节律失调。面罩功能的测试指标包括光疗效果，以及与配套智能手机应用程序有关的用户界面。

还对倒班工作者和青少年进行了用户访谈，以确定该产品是否可以用于普通消费者。在用户反馈的基础上，为工程和纺织部门开发了综合功能列表，LumosTech 正在进行睡眠面罩生产的验证测试。这个更新模式的目标是提供一个可以轻松地在多种环境中移动睡眠周期的方案，其中包括 ISS 和地球上消费者的睡眠周期。

4. 完成通信延迟研究协议和团队动态研究

南加利福尼亚大学劳伦斯·帕金斯博士率领的研究人员，利用 ISS 来评估通信延误对个人和团队的绩效及愉悦感的影响。在一个为期 166 天的任务期间，观察 3 名 ISS 航天员和 18 名任务支持人员对 50 秒的单向通信有无延迟。每次任务之后都对个人和团队的绩效、情绪、沟通质量以及任务自主权进行评估。

结果表明，与没有通信延迟的任务相比，有通信延迟任务的愉悦感和通信质量明显降低。定性数据表明通信延迟影响到操作结果、团队合作过程和情绪，尤其明显的是当任务涉及到许多与通信需求有关的活动时，不管是由于沟通策略差，还是乘员的自主性下降，均是如此。

佐治亚理工学院的尤特·费希尔博士和旧金山州立大学的凯

斯琳·莫热博士进一步研究了这些问题。在这几个实验室和空间模拟研究中，研究人员确定了空间-地面相互作用的通信延迟问题与传输延迟有关，并且开发了通信协议来减轻这些问题。协议旨在抵消人类固有的通信偏差，并帮助远程团队成员在异步通信期间有效跟踪会话线程和信息序列。

在 2 次 NEEMO 任务和 6 次 HERA 任务中对该协议的有效性进行了评估。参与者接受了异步通信挑战的培训，并且了解协议和公约的要素。使用协议的接受程度和承诺很高，而且在整个任务期间进行的调查表明，参与者认为该协议有效支持了与任务控制人员之间的沟通，这些协议可以减轻由于通信延迟而引起的通信质量下降。

三、美、俄、欧开展系列地面模拟试验

(一)“赫拉”模拟试验系列-4 启动

“赫拉”试验(Human Exploration Research Analog, HERA)是 NASA 为航天员执行深空探索任务(如小行星或火星任务)所开展的地面模拟任务之一，任务期间主要研究人受到的生理和心理影响，这些影响与航天飞行经历相似。

“赫拉”模拟试验系列-1 于 2014 年实施，任务期为 7 天；系列-2 于 2015 年实施，任务期为 14 天；系列-3 于 2016 年实施，任务期为 30 天；2017 年开展的是系列-4 试验，该系列包括 4 次为期 45 天的模拟空间探索任务。将任务时间不断加长，主要是为获得更多与真正长期飞行任务相关的研究数据。

人体研究计划要求“赫拉”模拟试验系列-4 的乘组在所有 4 次任务中进行同样的实验，这样研究人员就能够识别出研究数据的模式和差异。实验包括测试硬件原型样机，利用一台 3D 打印机制造设备，为航天食品检验一个新概念，驾驶一艘模拟探索航天器并实施一次虚拟小行星舱外活动。当“赫拉”乘组在模拟舱内开

展工作时，“赫拉”项目组的研究人员会在舱外实施监测，收集延长隔离和受限对乘组生理和心理的影响，以及团队动力学和冲突解决等方面的数据。

按计划本年度应完成系列-4 中的 3 次任务，但第二次任务由于受到哈维飓风的影响而中止了。任务期间，研究人员主要进行了睡眠剥夺研究。允许乘组每周有 5 天每晚睡 5 小时，另外 2 天每晚可以睡 8 个小时进行恢复。这组试验方案里规定不能打盹和提供限量的咖啡因。研究目的是为了测试将居住舱照明作为乘组人员对抗疲劳的措施，并评估生物数学模型预测乘组人员疲劳的适用性。在这些条件下，团队凝聚力、人员表现和人际关系也要进行评测。

(二) 完成第 5 次 HI - SEAS 火星模拟任务

HI - SEAS 全名为“夏威夷太空探索模拟”试验，这是由夏威夷大学在莫纳罗亚火山上进行的。该研究得到 NASA 资助，主要集中在航天员选拔、团队协作和凝聚力上。

2017 年 1 月，参加第 5 次 HI - SEAS 任务的 6 名乘员开启了在类似火星的环境中生活 8 个月的模拟任务。任务中，他们需要应对一系列的挑战，比如 20 分钟的通信延迟、穿上防护服勘测着陆点地质特征等。同时，乘员们还要忙于各种各样的实验和项目，包括 3D 打印、用脱水食物烹饪、种植和收获新鲜的药草、鉴定在太空种植植物应具备的最佳特性等。

科研人员希望在这次 HI - SEAS 任务中进行的研究能为人类下一步探索火星的计划作出重大贡献，并计划在 2018 年进行第 6 次 HI - SEAS 任务，同样为期 8 个月。

(三) NEEMO - 22 开展模拟载人登月救援试验

NASA 于 6 月 18 日派遣一支国际乘组到大西洋海底进行了为期 10 天的极端环境任务行动 (NEEMO - 22)，乘组人员的任务目标包括测试航天飞行对抗措施设备、掌握精确跟踪栖息地设备的

技术以及开展人体构成和睡眠研究。任务期间，参加 NEEMO - 22 的 4 位“水下航天员”还开展了一项模拟救援航天员返回月球基地的水下试验，以评估由欧空局赞助的月球营救设备。

乘员营救是月球远距离跋涉的必备能力，但由于航天服的重量和行动约束，航天员拉拽转移同伴极为困难。“月球救援系统”能够在保持航天服活动性的前提下实现快速救援。它可以机动到航天员上方打开锥形可折叠结构，并使用滑车举起受伤的航天员，将之放在带滚轮的担架上。该系统由荷兰 HAL - 3 Projects 公司制造。在进入“宝瓶座”之前，已经在欧空局航天员中心的大型训练水槽中进行的模拟月球出舱行走时经过了测试。

两位“水下航天员”佩德罗·杜克和谢尔·林德格伦互相模拟了营救对方的试验。该试验的负责人说：“我们以国际合作的视野设计试验，并利用了已经开展的为未来空间探索进行的前瞻性试验以及以往空间探索经验。我们的平台能够验证更多的创新性月球探索设备”。基于近期的试验反馈，欧空局能够改进月球救援装备，并使月球行走营救更快更简单。

(四) 维生素超级混合物抗击卧床 60 天负面影响

2017 年 9 月，欧空局进行第二轮卧床试验，研究混合抗氧化剂和维生素以帮助航天员对抗太空生活的副作用。10 名志愿者卧床 60 天，头部向下倾斜 6°，至少保持一只肩膀始终放在床上。高强度卧床导致肌肉和骨丢失现象发生，血液和体液冲向头部，这和航天员在太空经历的情形相似。为了测试新的锻炼制度、饮食以及了解航天员身体发生了哪些反应，欧空局定期进行卧床研究，模拟太空失重环境对人体的影响。

在这项由法国航天医学和生理学研究所(MEDES)发起的研究中，志愿者们测试了一种抗氧化剂和维生素的混合物，该干预剂早在 2011 年就被呼吁进行过一轮测试。当时另 10 名志愿者的 60 天试验从 1 月进行到 4 月，15 项试验同时进行，作为对照组，受

试者的其中一半人不使用混合物。

健康的混合物是否会减少 60 天卧床带来的不适感？研究人员将在研究过后发表试验成果。在此期间，欧空局已经准备与 NASA 合作，将在 2018 年 8 月开始在欧洲航天员中心进行下一轮卧床试验。在这 60 天里，研究人员将在静止状态下用离心机旋转受试者，以此来测试人工重力对抗失重症状的有效性。

(五) 俄美联合开展“天狼星”模拟飞行试验

俄罗斯和美国于 11 月 7—23 日在俄罗斯科学院生物医学问题研究所内的地面实验舱联合开展了“天狼星”系列模拟飞行试验。“天狼星”是一个系列试验，本次试验为期 17 天，是其中最短的一个，其他几次试验分别计划开展 4 个月至 1 年。两国科学家将在几年内模拟长期航天飞行，研究受限空间长期密闭隔离所带来的相关生物医学问题和心理学问题，试验还有助于科学家深入理解长期飞行中人的工作能力。本次模拟试验计划开展约 60 项实验，其中 60% 是俄罗斯的，40% 是美国的。

“天狼星”模拟试验旨在解决摆在俄罗斯和美国航天人面前的两项新任务。第一项任务，是隔离条件下不同文化背景的人之间的相互关系研究，第二项任务是最大限度地达到乘组活动的自主化，其中包括紧急情况下实施医疗救治。试验组织者表示，自主性的研究和探索，对于月球飞行、火星飞行以及在月球上建造驻留基地而言都是非常重要的。

本次模拟试验设计为 17 天，是搭乘俄罗斯“联邦”号或者是美国的“猎户座”飞船去探索月球时开展的飞行旅程的模拟。参试乘员需要模拟实际任务中航天员的所有操作，就连乘组吃的食品也都是为长期航天飞行的航天员加工制作的。

本次试验的参试乘组由 3 名男性和 3 名女性组成，在性别比例上达到了平等。此次模拟试验的主要任务之一就是考察性别平等将如何影响乘员间的相互关系以及乘组内部的互动。此外，

还将研究性别平等如何影响行为、影响乘员对空间的利用，以及如何影响乘组的自我感觉及整体状态。这些问题俄罗斯和美国学者都未曾涉足过，本次试验首次触碰到了这一问题。

试验中通过虚拟现实技术来模拟月球。乘组的任务包括观察月球表面的目标，遥控事先已登陆月球的机器人-月球车。此外，乘员还要按照 NASA 的计划开展“机械手”的测试，用这个“机械手”去抓取捕获“卫星”。专家指出，这些虚拟模型就是未来模拟器的基础，例如，未来火星飞行训练模拟器。所有作业乘组不需要出舱就能完成。

在本次试验中，3 名乘员在实验舱内顺利完成了俄罗斯“联邦”号新型飞船驾驶员操作控制平台模拟器的首次测试，这是一个与负责接近、对接及控制系统完全一致的模型。对该平台在虚拟绕月飞行的不同阶段上都进行了测试：在近地轨道上“月球飞船”与助推器的对接阶段，飞船的轨道调整阶段，从近月轨道转移到飞向地球的轨道阶段及在地球的着陆阶段。在测试过程中对 3 名参试人员的心率、血压及应激指标也同时进行了监测。

“天狼星”模拟试验是俄美于去年年底签署的为期 5 年的合作协议框架下开展的第一个项目。IBMP 负责人表示，此次试验是俄美长期合作计划的第一个阶段，俄方也希望能够与更多的国家进行合作，以促进开发及制定实现深空探索飞行的方法和手段。