

果表明在舱外活动期间,服装重量和类型以及工作任务的分配对人的工作能力有着重大影响。

2008年启动的两项研究将更好地理解模拟登月任务中重心和服装质量对工作能力的影响。早期的EPSP测试标出了影响工作能力的6个重心位置,并可根据乘员等级确定出重心的范围。现在的测试是评价这些重心位置对穿服装和不穿服装时工作能力影响的子集。在部分重力模拟器上进行的综合服装测试3主要评价被试者在水平和倾斜跑台上行走、完成有代表性的探测任务以及安静地站在平台上时,重心位置和服装质量对工作能力的影响。测试中不穿服装的部分在2008年已完成,其余的穿服装测试在2009年中期进行。综合抛物线飞行测试于12月份开始,进一步评价综合服装测试3的模拟登月飞行子集。此测试将用于验证在部分重力模拟器上所采集的数据,并进行另外的在部分重力模拟器上无法进行的质量匹配测试。在航天员不穿服装和穿着Mark III型航天服进行行走和执行探测任务时,记录下一些生物力学和主观参数。

2007年,NASA的霍顿火星计划“往返行走”的实验证明,与快速和分级跑台控制试验相比,月球表面地形大大增加了航天员的代谢率。为了追踪调查此结果,2008年EPSP又开展了一项研究,来确定在月球表面地形下步频是否更快,脚与地面的接触时间是否更长。

3. 飞行模拟

飞行模拟(FAP)是利用卧床进行的各种研究。卧床是一种成熟的航天模拟方法,能够用来研究与航天飞行相关的生理功能改变。对每名受试者进行标准的生物医学测试,以评价其卧床前、中、后航天员的免疫功能、营养状态、认知功能、心血管反应、运动反应、神经功能以及骨骼生理学。该项研究于2009年开始。

卧床实验继续进行了90天-6°头低位卧床研究(C3性别差异)。该实验模拟了微重力对人体生理的影响,包括心血管研究,用来分析航天员在飞行后立位耐力的性别差异。为了完成此项实验,研究

人员比较了 90 天卧床前后男女性动脉压和静脉压的区别。

-6°头低位卧床可以模拟航天飞行中的微重力,同样,在地面用长期卧床也可以模拟月球重力。FAP 已研制出一套月球重力模拟器,存放在德克萨斯州大学医学分部。月球重力,即 1/6 的地球重力,可用 9.5°头高位卧床来模拟。在此位置时,受试者 1/6 的体重施加在脚部。FAP 的月球模拟器可使受试者 9.5°坐着或站着,还允许受试者行走和跳跃,以模拟航天员在月面的活动。可行性研究主要是验证受试者是否能忍受 6 天的月球卧床模拟。一旦可行性研究完成,将计划进行 60 天的飞行研究,以观察该模型上的生理变化。登月初步研究所获取的数据将和数字航天员项目所预估的数据进行比较验证。在此之后,该模拟器将用于测试和研发减轻 1/6g 影响的对抗措施。

4. 非锻炼生理学对抗措施

非锻炼生理学对抗措施项目(NxPCM)主要涉及心血管、免疫、骨骼、营养、药物和神经前庭生理学,它是一种应用驱动型研究项目,寻求了解和消除航天飞行对人体健康和工作能力的影响。2008 年,该研究包括 39 项正在进行的太空和地面研究项目,涉及 6 个生理学领域研究人员。

2008 年成功完成了航天飞行对普鲁米近的生物药效率和性能的影响研究,共有 9 名受试者和 5 名对照组参加。普鲁米近是航天飞机和国际空间站乘员在飞行头几天预防空间运动病的药物。此项研究有助于研究人员了解该药物在太空环境下的吸收率、性能影响以及副作用,这些对确定该药物的最佳剂量和服用程序都是非常必要的。

2008 年,营养生物化学实验室的研究人员发布了参与“营养状态评估”的 3 名航天员的数据。数据表明,要想将维生素 D 维持在飞行前的水平,每天需补充 800 IU。国际空间站上的胶原质交联排泄物与天空实验室和“和平”号空间站乘员的相比,骨吸收的生物标志

物要高 100%~150%，而抗氧化剂总量要低。实验室在 11 月收到 STS-126 任务返回的额外样本，已经完成至少 5 名被试的数据采集工作，其余 7 名被试的数据在 2009 年完成。此项研究又新增 12 名被试，用以更详细地分析个体效应(对抗措施-药物、训练、饮食；性别差异等)，这些数据将更有利于了解航天员的性别差异。

2008 年初，项目组对有关骨骼肌肉保持力及体位状态的研究结果进行了讨论评审，评审小组认为此项研究对防止骨丢失并没有太多实际意义，在骨内滞留物中只检测到很少的有益物质，该研究已基本完成，数据分析工作在 2009 年完成。

2008 年 8 月，人体系统风险委员会对米多君(Midodrine)药物作为飞后立位耐力下降的对抗措施进行了评价，该委员会认为 Midodrine 作为对抗措施，其潜在的副作用和其他药物的交互作用要更大。研究发现 Midodrine 对减轻立位血压过低还是非常有效的，但是当其与普鲁米近这种治疗空间运动病的药物同服时，会产生很多有害作用，包括非随意移动、焦虑和攻击行为。

5. 数字航天员

数字航天员项目正在研制一个完整人体的详细计算机模型，该模型将用来预测航天飞行对身体各个系统的影响。研究人员已经开始研发骨丢失、肾结石形成和心脏的详细模型。由于人体研究项目始于月球卧床模拟研究，所以数字航天员项目即用来预测其最佳配置。在纯重力分析的基础上，认为用 10°头高位倾斜卧床来模拟肌肉系统。而在液体分布分析的基础上，认为用 2°头高位倾斜卧床来模拟心血管系统。

项目建议使用 Jobst®压力袜再加上 10°头高位倾斜卧床即可合理地模拟月球条件下的这两个系统。数字航天员项目预计在此项研究中血浆容量的损失约有 6%，而实际测试得出的结果为 7.5%。后续进行的 60 天飞行研究所获取的数据将用于修正此模型。分析专家完成了分子水平上骨转变的初步分析公式表达。

(四)探索飞行任务中的医疗保健能力(ExMC)

在月球和火星探索飞行任务中,航天员乘组不仅需要维持健康的能力,还需要具备诊断和治疗伤病的能力。探索飞行任务中的医疗保健能力有一部分主要是研发飞行任务中的医疗技术、数据处理能力以及不同级别保健的临床措施。医疗技术不仅包括飞行中的诊断和治疗技术,还包括数据系统,它可以保护病人隐私、辅助对病人的诊断,并可作为 NASA 相关生命科学实验研究的资源库。为了使航天员乘组健康医疗风险最低,本项目的医生和科学家们研发了量化飞行任务中医学事件发生概率的模型。他们确定生病和受伤航天员的治疗步骤,这些伤病航天员由于无法送到急救室,必须在微重力环境中进行治疗,而此时的液体和固体特性都与地面大不相同。

1. 用“Braslet-M”套带验证在轨评估心血管功能和循环血量变化的方法

此项研究是 NASA 和俄罗斯航天局的一个合作项目,研究的目的是建立一种超声方法,用来评估中枢血流量和外围血流量以及心血管的功能,尤其是血管内循环血量的快速变化。此项研究使用俄罗斯生产的一种对抗措施设备:Braslet-M 套带。2007 年底,2 名国际空间站航天员进行了第一阶段的飞行测试,2008 年又有 3 人完成了飞行测试。随后的国际空间站长期考察团乘员还将继续进行飞行测试。初步结果表明,这种相对复杂的心血管评价可远程进行,其操作员仅需简单的训练即可。与不戴套带相比,戴上套带会发生以下变化:颈静脉的横截面缩小,套带以下股静脉的横截面增大,心脏的尺寸也减小。呼吸调整期间心脏的参数变化可以使用流量和组织多普勒仪进行测量。随着样本数量的增加,可以进行更详细的分析。

2. 静脉注射液生成

探索任务中用静脉注射液(IVGEN)充分治疗伤病航天员是乘员健康保健系统中非常重要的一部分。现在,NASA 使用预先充满的液体包,这需要占用相当多的质量和体积,且保存期限十分有限。

IVGEN 项目正在研发一套硬件设备,它可以利用国际空间站上的水资源来生产医用四级药液。这样,NASA 将不再因运送和补给静脉注射液而招致大量质量和体积的损失。2008 年 2 月 22 日,IVGEN 完成了初步设计评审。概念设计通过之后,IVGEN 继续进行电路板级的测试和进一步的改进设计。2008 年 11 月,成功完成该项目的关键设计评审。评审委员会一致同意 IVGEN 开始进行硬件生产,以准备 2010 年的飞行验证。

3. 综合医疗模型

负责综合医疗模型(IMM)支持工作的格伦研究中心通过几种途径扩展和应用其骨折模型。首先,应人体研究项目科学家的请求,格伦研究中心分析了参加长期飞行的被试人员从 1 米高处摔落,其髌骨骨折的可能性,分析表明即便是髌骨没有遭受任何骨丢失,这样的负荷也足以造成骨折发生。另外,格伦研究中心还在骨模型中增加了额外的部分,即定量分析造成腕关节骨折的负荷量与飞行相关的解剖学上的变化。分析确定,腕关节比髌骨或腰椎更容易骨折,这主要是因为高负荷更多地危及到腕关节。最后,格伦研究中心完成了长期停留在国际空间站上而导致骨折的可能性分析,结果表明,如果不考虑微重力其骨折的可能性会增加。格伦研究中心还完成了综合医疗模型中预测航天员需要服用安眠药可能性的模块设计,之所以要服用安眠药主要是因为换班而导致生理节律紊乱。一个独立的专家评审小组对此模型所采用的方法进行了评审,认为该方法是正确合理的。

4. 生命科学数据存档

生命科学数据存档项目制作了存贮在艾姆斯研究中心生物样本库中所有样本的详细目录。目录核查了飞行中和地面动物研究近万种样本的可用性和存放地点,这些样本来自“阿波罗”时代一直到最近的 Foton-M2 任务(2005 年欧洲航天局和俄罗斯联邦航天局的合作项目)。库中的样本有冰冻的和非冰冻的,包括动物骨骼、肌肉

和器官的各种组织样本。NASA 内外的科学家均可以使用该目录,甚至包括那些 NASA 的国际合作人员。

5. 探索任务中生理监测设备的评价

来自约翰逊航天中心、艾姆斯研究中心、格伦研究中心的 ExMC 项目研究人员,在位于休斯顿德克萨斯医疗中心内的人的绩效国家研究中心进行了生理监测系统的测试工作。研究人员整合了一套身体适合性程序并模拟月球表面任务(用铲挖掘、捡拾岩石、攀爬梯子),研究中心测试了用于移动生理监测的 2 套传感器系统——Hidalgo 系统和轨道研究/ BioWatch 系统。Hidalgo 系统由 8 名女性和 5 名男性受试者进行评价,而轨道研究/ BioWatch 系统则由 3 名女性和 4 名男性受试者进行评价。测试将帮助硬件开发人员为未来的舱外活动和常规飞行医监改进其生理监测系统。人的绩效国家中心向 ExMC 研究组呈递了关于传感器放置、舒适性、信号质量、抵抗恶劣环境方法的经验报告。

6. 便携式血细胞计数器的 0g 验证

来自 Cal 技术公司和国家航天生物研究所(NSBRI)的主要研究人员与 ExMC 项目的研究人员合作开发了一套白细胞计数器,主要用于治疗航天员因接受辐射而引起的疾病和感染。最近 ExMC 研究人员成功完成了此设备的 0g 测试飞行,测试系统由 Cal 技术公司、美国加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)以及 Iris Diagnostics 公司联合研制。除此用途之外,便携式白细胞计数器还将用于急诊室、救护车,最终还会用于家庭。

7. 非侵入式骨质量评估系统的卧床验证

来自 Cal 技术公司的主要研究人员继续改进其非侵入式超声系统来评估骨的质量。在与约翰逊航天中心骨实验室的共同合作下,系统接受了 29 名受试者 90 天卧床实验的评价,并与骨密度标准测试进行了比较。在脚后跟的评估中,发现采用超声系统和骨矿密度扫描两种方法所得的结果有着强烈的相关性。Cal 技术公司的

超声系统在微重力的模拟研究中成功地检测到骨丢失。

(五)空间人的因素和适居性研究计划

本项目完成了交互设计对人的绩效的影响预测模型,提供了测量人和人-系统绩效的方法,提出了先进乘员接口和居住系统的设计概念和评价手段,以及对航天器和航天任务的设计要求。本项目包括3个主要研究领域:高级环境健康、先进的食品技术以及空间人因工程。

1. 高级环境健康

月尘有多少潜在毒性?高级环境健康项目正在试图回答这个非常重要的问题,并确定出月尘暴露的允许限值。月尘健康标准也许能帮助NASA的工程人员确定月球着陆器、居住舱和月球车月尘限制的硬件、对抗措施和程序。

2008年,高级环境健康项目在月尘特性的研究方面取得重大进展并开发出月尘毒性的测试方法。进展包括了解月尘在尘土形态、化学性质、反应能力、对细胞的影响以及对整个动物影响各个方面的毒性情况,所有这些发现有助于人类了解月尘的毒性并给出定量的结果,而此结果对于2010年制定出暴露标准将极为有用。

月尘的产生和性质

研究小组已经找到几种产生可吸入大小的月尘粒子的方法,这些粒子将用于吸入性毒理研究。迄今,球磨机的研磨已经产生了理想的效果。采用这种方法可使研磨过程中产生的污染物降到最低,而且可以生成大小合适、具有部分活性表面的粒子。目前正在将这种研磨方法进行最优化。一旦月尘进入肺部,将月尘分解就是最重要的处置方法。研究小组发现矿物的分解在不同PH值的水介质中有着明显的不同。由于肺表面活性剂是月尘进入身体后遇到的第一种液体,所以分解研究将扩展为在类肺表面活性剂中的测量。

月尘在细胞中的活化作用及毒性

居住舱内月尘的活化作用时间是理解新(有活性的)旧月尘相

对毒性的基础。在居住舱内,月尘的活性表面需要多长时间才能被钝化?不同的活化方法研究及不同的活化定量方法研究表明居住舱内的活化时间约为1~2小时,也就是说,在新的月尘进入居住舱内后,航天员的暴露标准应非常严格。

通过在细胞系统内采用毒性标记(发炎),结果表明,这些标记对模拟月尘的浓度增加非常敏感,在一定浓度下增加细胞的暴露时间会使毒性标记的反应更为剧烈。这些研究方法还将用于实际月尘的研究。

月尘暴露对啮齿类动物的毒性反应

在与国家职业安全和健康研究所(NIOSH)的合作下,用啮齿类动物进行了标准尘土和真实月尘在气管内灌注的毒性研究。根据此研究获得的数据,产生了一条看似有道理的毒性与剂量变化的相关曲线。其他的研究还包括暴露动物肺组织和肺淋巴结的病理学研究。

物体表面、水和空气生物特征实验

最近,分子生物学技术和仪器的发展使得对环境有了更为全面的评价。航天器内微生物和过敏源的复杂特性(SWAB)飞行实验的样本均利用为该项研究专门设计的独特硬件采集的,水样本将来会用便携式水分送器从国际空间站上取回。这些样本都是送回地面进行处理和分析的,分析包括确认细菌和真菌的分子式,定量确定和列举出一些特殊的基因。飞行前的样本和飞行后的样本都采用变性梯度凝胶电泳分离法进行评价,这是一种不需要生长媒介的细菌鉴定技术。采用这种方法鉴别出的生物体与以前采用培养技术分离出的生物体有所不同。采用定量聚合酶链反应法已经从几种样本中检测出包含水痘-带状疱疹病毒在内的几种病毒。病毒由人携带,在某种特定条件下就会“重新活跃起来”,造成疾病的发生。实验中所采集的信息对了解长期飞行任务中微生物的菌群非常重要。通过利用SWAB飞行实验中所得的数据,再加上新的分子技术,NASA将

会对微生物风险有着更清晰的认识和了解,从而能够更进一步地降低航天员的健康风险。

2. 先进食品技术

为长期飞行的食品采用新的包装对探索飞行任务的成功十分重要。目前,用一项为期 18 个月的包装比较研究,来评价一种 Tolas[®]新材料相对于主包装材料(Combitherm[®])和类似的现包装材料(Technipaq[®])的有效性。研究结果表明 Combitherm[®]材料不足以提供屏障保护,还需要加一层透明外包装,而 Technipaq[®]和 Tolas[®]这两种材料本身都可以提供足够的保护屏障。Tolas[®]材料的优越性能也许可以通过减少一层包装来优化目前的国际空间站食品包装系统。

由于现在考虑用热稳定食品来支持长期飞行任务,所以 NASA 正在研究热稳定食品的长期稳定性。长期任务中所用食品的保质期要求为 3~5 年。2008 年完成了淀粉制品(马铃薯)和水果制品(大苹果酱)为期 36 个月的保质期研究。在淀粉制品中,叶酸和泛酸的含量随着时间的过去明显下降,此外,口味也变得越来越差,主要是由于余味变酸,缺少香味,整体口感变差。随着时间的流逝,水果制品中维生素 C 和叶酸的含量也逐步下降,在 40 °F 以上时由于氧化作用颜色也越来越暗。2009 年秋季,完成了其他的热稳定食品,包括鸡蛋和肉制品(椰菜、蔬菜煎蛋卷、烤肉)的保质期测试。初步的结果表明,热稳定处理不适合蛋类食品,但是对肉类食品却能支持 87 个月的保质期。2009 年,对 NASA 的 60 种热稳定食品进行保质期评估。

3. 空间人因工程(SHFE)

声学模型

NASA 正在进行下一代航天器的设计,首次在离心机上对振动和加速度进行了研究。此外,研究人员还比较了给航天器提供不同输入的方法,以及给航天员显示警告和报警信息的方法。该项目的

研究人员已经研发出一种声学模型,利用它可在设备建造之前就能预估其在航天器内的噪声水平。此外,还研制了一种噪声模拟设备,它可以创建设定的噪声环境,进行改良后的韵律测试,并用于评价样机内部噪声对语言交流和声音通信的影响。

故障管理研究

最近,在 NASA 的智能航天器接口系统上升模拟器内,对下一代载人航天器的两个实时故障管理操作概念进行了评价。研究强烈建议在乘员探索飞行器的故障管理操作概念中应包括这样的要求,所有重要的与故障管理相关的信息(如故障消息、基于图形的系统概要信息、电子程序阅读菜单)都应同时可视,而且最好集中显示在一台故障信息显示器上。

光标控制设计

2008 年,测试的重点是光标移动。像大多数计算机一样,自由移动、连续显示的光标很难在高振动环境下精确使用。因此也许会用离散型的光标移动方式来替代,另一种提高精确度的方法即使用重力井,用它来捕获光标并将其拖拽到最近的目标。研究证实,如果精确度非常重要的话,那么离散模式或重力井是最好的选择,虽然这样完成起来极富挑战性。如果速度更为重要,那么用跟踪球和连续光标则是最好的选择。2009 年,通过使用振动平台来模拟发射和再入时的高振动环境,并在这种环境下进行光标控制设备的性能研究。

(六)行为健康和工作绩效研究计划

行为健康和工作绩效研究计划主要进行 3 个方面的健康风险研究:由于睡眠不足、疲劳、心率失调和高负荷而导致的绩效问题;由于缺少团队凝聚力、选拔不当、搭配不良、训练不足、心理适应性差而导致的绩效问题;行为和精神病风险(B-Med)。行为健康和工作绩效研究计划在飞行中和空间模拟环境下进行行为健康和绩效下降的检测、预防和治疗研究。

目前,睡眠风险的研究主要集中在对抗措施的研究上,包括照明、药物、睡眠卫生以及作息的安排;其他风险研究还包括团队绩效和内部隔阂的研究,开发出一些手段和技术来监测人员之间的交互,并标示出凝聚力和绩效;B-Med的研究目的即研发监测和自我评估工具,利用非干扰的客观测量手段来早期检测和处理太空生活所致的疲劳和应激反应。研究的最终目标是使航天员乘组更好地适应空间环境,并保持他们的动机、凝聚力、彼此间的沟通以及士气和工作绩效。

凤凰侦察车

主要研究人员和一个多协会的研究小组利用对抗措施对凤凰侦察车的地勤人员给予支持,帮助他们减少睡眠不足、疲劳和生理失调的影响。支持此任务的地勤人员生活和工作在火星天,或称为“Sol”,每个工作日要增加近 39 分钟。在为期 3 个月的任务中,这个时间表对生理失调、睡眠紊乱和绩效下降都存在潜在的影响。为了增加挑战,一些当地的地勤人员仍然和他们的家人同住,而他们的家人仍然保持正常的地球天。研究人员提供了蓝光箱和实用的基于证据的睡眠建议,从而更好地与火星“Sol”保持同步。与此同时,研究人员在任务中收集数据(包括验尿来记录褪黑激素水平,精神失眠任务中的绩效数据,自动化的神经心理学评估,主观的睡眠评级),以评价时间表对生理节律系统的影响,并评估对抗措施的可接受性、可行性和有效性。

虚拟空间站

在 NSBRI 的资助下,研究人员正在开发一套交互式的媒体节目,以帮助长期飞行人员预防、发现、评估和管理他们自身的心理问题。目前的系统包括摆脱消沉和缓和内部矛盾的内容。此外,压力管理模块正在由加利福尼亚大学的科学家们进行研发。未来的模块可能还包括行为健康的其他方面。虚拟空间站中的消沉组件使乘员能够识别出消沉的征兆和症状,并接受行为治疗。目前正在进行该治

疗计划的临床随机试验。

国际空间站上的精神失眠自测

2009年9月,在国际空间站上开始进行精神失眠自测实验。精神失眠自测,也被NASA称为反应力自测,它是一项高度敏感、短暂的、客观的核心认知手段,包括注意力的稳定性、失眠过失以及反应时间不足。精神失眠自测通过向航天员医师和航天员提供信息来支持自主操作。研究人员在开发和验证精神失眠自测时充分考虑了航天员所面对的独特要求。例如,现在精神失眠自测要求占用最少的乘员时间(测试时间为3分钟)。该项测试已经通过了疲劳敏感度的验证,航天员训练的地面绩效规范也已制定出来。除了在测试中使用航天员绩效来优化绩效算法之外,研究人员还在开发自测用户接口时要求航天员给予反馈,从而确保自测的可用性和可接受性。

生理绩效仿真软件

行为健康和工作绩效研究目前正在评价可能导致睡眠紊乱的航天飞行环境和任务情况,评估中也会重点考虑个人原因所导致的睡眠不足。主要研究人员及NSBRI人的因素与绩效研究小组已经开发和验证了一个基于心理的数学模型,包括睡眠、生理节律、绩效和警觉。目前,模型工作主要集中在针对个人生理失调(如倒时差、冲击移位、由于操作限制而导致的安排突变)和超长工作的反应预估上,而非小组人员的平均情况,另外,还将与活动记录仪上的数据相结合来作为一种客观测量睡眠-觉醒活动和对不同波长光反应的手段。研究成果将帮助探索任务的计划者来制定时间安排表和采取相应的对抗措施来优化个人工作绩效、警觉和睡眠质量。