

# 人体生理的微重效应

钟季康

(上海铁道大学物理教研室 200331)

人体在漫长的进化过程中,已经适应了周围的物理环境,例如地球表面的温度、电磁场、重力场等。地球表面的重力场强度大约在 $9.8\text{m/s}^2$ 左右,作用于所有物体上,使它们受到指向地心的作用力。人体中的每一器官、组织、细胞以及生物分子都是在这样的重力场中得以演化并赖以生存的。一旦失去了正常的重力场,生物体的器官和组织就将失去平衡,导致一系列的生理变化,甚至危及生命。超重和失重就是两种偏离正常重力场的典型状态。所谓微重力环境就是重力强度大大减少,十分微弱,其大小大约只有地球表面重力场强度的百万分之一。宇航员乘坐宇宙飞船在太空中飞行就是在这样的微重环境下生活和工作的。在太空中生活条件是相当恶劣的。由于缺乏大气,人体失去了与此有关的大气压力。尤其严重的是失去了阻挡宇宙中有害辐射的有效屏障。但人造空间飞行器通过精巧的设计,其控制系统提供了合适的生活环境,使飞行器内的温度,气压,甚至呼吸的大气成分都与地面相同,宇航员在其间生活和工作感到很舒服。然而,人类在空间活动生理和行为上的主要障碍还有失重或微重状态。微重状态对身体非常不利,大大限制了人们在太空中的活动空间和时间。微重影响了许多生理功能,例如人体的平衡系统;心肺系统;肌肉和骨骼系统等。本文就微重对人体生理的影响作一介绍。

## 生理平衡系统

在远离地球的地方,重力非常弱,宇航员不得不开始适应无重力的不自然状态。在太空中,宇航员可以毫不费力地漂浮在飞船中,他们用自己的内力去建立运动。在微重的空间里,方向性已经无意义了,因为只有地球上由于重力才有“上”“下”的方向概念。在地面上的人们是靠内耳的敏感器官传递信息给大脑,以保

持身体的平衡。在太空的微重状态下,与重力有关的振动发生了变化,把神经系统搞乱了,结果内耳的传感系统向大脑传递了模糊不清的信息,身体难以平衡。这种感觉在地球上也能体会到。例如,在海上旅行时,船体在波涛中起伏摇晃,不适应者感到头昏目眩。这就是身体失去平衡产生的感觉,有时称作“运动病”。为了使宇航员适应微重状态,可让他们在实验室内作训练。宇航员们坐在旋转的椅子上或者旋转的机舱内,以不同的速度旋转,宇航员们就可感受到不同的重力条件,以体验他们将要去的太空和星球的重力环境。

## 心血管系统

心脏作为一功能器官,它把血泵到血管里,通过血液将营养输送到身体的各个部分。肺气系统则是通过毛细血管完成二氧化碳与氧的交换,并通过血液循环完成新陈代谢功能的。肺部肌肉帮助改变胸腔的大小,使之对进入和呼出空气流作出响应。它们的运作与重力没有关系。因此呼吸并不受到微重的影响。

在太空中人体血压的变化反映了血管中血流的情况。地面上正常成年人的血压值是120/80。120和80分别是指120mm和80mm水银柱高的压力。120代表了收缩压,左心室施加一个力把血压入大动脉。80是舒张压。一缩一张,心脏完成了一个循环。一个正常成年人每分钟大约泵5升血(称作输出血量)。如果血的黏度发生变化(比如严重的吸烟者就是这样),或者血管的阻力发生变化,血压就改变。由于微重,心脏的体积及心率都将发生变化,从而影响人体内的血流量。

液体中的压力称作液压,它随深度而变化。某处的液压是该处以上液体的重量引起的。在地面上重力有助于血液向腿脚流动,阻止血流涌向头部。因此,当站在地面上时,脚部的血液

压力就要大些,而头部的血压就相对小些.显然生活在地面上的人体已经接受了这个正常的条件,身体各部分能在这个条件下协调工作.然而在外层空间的微重条件下,没有有效的重力推动血液流向脚部,更多的血液流向心脏,从而在心脏内产生了一附加的压力.大量的血液积累在身体上部,这就导致了大脑和胸腔的高血压,身体上部产生了肿胀的感觉.超声心电图常常用来研究宇航员的.心脏功能.高频超声成像系统可以观察血液循环和心脏的变化.现已发现,由于心肌不在重力条件下工作,在微重下经过一段时间之后,心肌将会收缩变小.当宇航员第一次飞行时,心脏的血量比飞行前增加15%,在太空飞行四天后血量大约减少了20%,心脏的质量和血流量都减少了.

血液在身体内的不规则的重新分布,常常使宇航员们感到头昏和疼痛.这就像在地面上的人突然从躺下站立起来会感到头晕一样.为了减轻身体上部感受的较高压力,大脑的反应是分泌抗利尿激素,试图减少身体内的液体,比如增加小便,不想喝水等.这就是说,在体内实施“干燥化”处理,控制住身体内的液压.不过,这样一来,一旦宇航员返回到地面上时,由于没有足够的血液循环把氧和营养送到大脑和肌肉,宇航员会感到特别虚弱,有时,回到地面后10分钟都站不起来.因此,要求宇航员返回到地面后先躺下来,直到体内液体重新恢复到正常分布.

除了人体本能地对体液上流作出反应外,穿一身特殊设计的飞行服也可以减少身体上部的血量.这种飞行服在飞行时能对涌向头部的血液产生反作用.宇航员穿的“真空裤”内有一真空泵,产生一负压,以降低躯体和腿部的压力,促使血液从身体的上部流向下部.从材料上看,这种衣服是由可伸曲的纤维作成的,它允许肌肉伸张,能减少肌肉的退化.同时这种宇航服还有良好的冷却和排气系统.衣内装有冷却液的管子可把宇航员身上的热量移走.衣内的真空管则把宇航员呼出的气体排出.总之,太空服为宇航员身体各部分提供了相应的补助

功能,以保证宇航员在太空的安全.

### 肌肉组织

人体的各种形式的运动,主要是靠一些肌肉细胞的收缩活动来完成的.重力对肌肉组织及其运动有很深的影响.在宇宙飞船中,由于缺乏有效的重力,宇航员似乎显得自由自在,处于漂浮状态.然而在微重条件下,一些肌肉由于不像地球上那样受到力的作用而萎缩,一些细胞甚至死亡.除了心肌以外,腿肌是受影响最大的一种肌肉.大小腿的体积在太空中也会缩小.大小腿的体积是通过测量其周长来确定的.将若干个测量磁带附在长袜上,在飞行前后及飞行中读取相应的数据,并把腿模拟成几段半径不同的圆柱体,从而求得腿的体积.在两周的飞行中,发现腿的体积一直在减小,结束飞行时,体积变化了7%.

肌肉约占体重的40%,肌肉靠收缩而工作.当反抗外力而收缩时,化学能就转化为机械能,转换效率达40%,心肌是一自动系统,在人的一生中它不停地工作.呼吸系统和消化系统的肌肉也是这样.它们在微重下的功能没有改变.而骨骼肌如前臂肌,后臂肌和三角肌的运动是随意的,属于反抗重力而工作的肌肉,提供了人体站立或举起重物的力,同时它们收缩时又迫使血液流向心脏.按照功能的不同,肌肉可以分作两类.一类叫“慢缩肌”,它为身体提供了反抗重力的支撑力;另一类叫“快缩肌”,它产生爆发能量,提供诸如举起重物的力量.在微重条件下,慢缩肌由于缺少外力而开始萎缩,其后果是严重的.研究报告指出,宇航员的肌肉遭到了11%的萎缩,失去了25%的力学强度,而且很容易疲劳.由于肌肉的失效,在小便中磷和氮的含量也增加了.尤其是,微重环境还改变了慢缩肌的成分,增加了肌凝蛋白质的含量,使之变成了快缩肌.为了避免在太空的微重环境所产生的肌肉萎缩等问题,要求宇航员多多参加体育锻炼,利用转盘运动,弹簧平衡器和静止自行车等运动减少骨骼和肌肉的萎缩效应,延长在太空逗留的时间.

### 骨骼系统

骨头也是一与周围环境密切相关的活体组

织。骨头或者是密集型的,或者是海绵样较为松软的,或者是二者的结合。密集型的骨头密度达  $1.9\text{g}/\text{cm}^3$ ,在连接处摩擦系数小于 0.01,相当于冰鞋与冰的摩擦系数。脊椎骨,大腿骨,小腿骨都是身体平衡重力的主干骨。大多数人可以长高到 25 岁,25 岁以后又会减缩几毫米,这是因为脊椎会发生某些变化。但在太空飞行时却发现宇航员的高度比在地球上最高时还增加了 6~8 厘米。现已弄清这也就是在微重环境中的一种效应,即脊椎骨伸直了。由于这个缘故,宇航员常常感到背痛。此外,骨头的矿物质分布,密度和形态都会因长时间的失重而受到影响。研究表明,矿物质从骨骼,特别是从大腿骨中丧失严重。钙是骨骼中最基本的矿物质,它很容易在失重条件下从骨头中溢出。在模拟人在失重条件下的反应时,可以观察到这个现象。比如让人长时间躺在床上,或浸于水中,都发现了骨头形成率的变化,也发现了较多的钙从增多的尿液中排出体外。骨头是由胶质纤维构造的,它有很大的张力强度。骨头中钙的存在

增强了它们的抗压能力。在空间实验室里由于微重环境,腿骨没有了应承受的正常负荷,从而削弱了骨头的生成及其强度。对空间实验室里工作的宇航员所作的身体检查发现,应当承受体重的脚腕骨失去了 7% 的钙,大腿骨失去了 15% 的钙。萎缩和矿物质的流失导致了骨头变得脆弱,这也使返回到地面的宇航员感到困难,骨头这么脆弱以致他们一下子不能站立和行走。所幸的是,从骨头中失去了的矿物质不是不可逆的。返回地面后,在重力环境下,这些都是可以恢复过来的。

### 结 束 语

人类走向外层空间的开发已有 30 多年的历史,美国人已成功地上重力只有地球重力 17% 的月球,目前一个雄心勃勃的火星登陆计划也在实施之中。在人类向外层空间进军的过程中,势必会提出更多的与微重环境有关的生理和心理方面的问题,同时也为生命科学提供了新的研究领域,具有广阔的前景。

\*\*\*\*\*

### 科苑快讯

## 我国首次参加尤里卡计划合作项目

据《科技日报》报道 我国首次参加的欧洲尤里卡计划合作研究项目“腐蚀失效分析方法在工业装置维护中的应用”,一年来进展顺利。在中葡两国科研人员的共同努力下,科研工作不断取得进展。

中方项目研究小组在国内圆满完成前期工作之后,于 1998 年 6 月到葡萄牙的焊接与质量研究所工作。通过 3 个月的合作,中方小组的研究水平大有提高,其主要创新性研究结果如下: 1. 葡萄牙焊接与质量研究所开发的人工智能系统能对构件是否发生腐蚀失效作出判断,中方小组在此基础上提出了对构件的使用寿命进行归纳分级处理,将人工智能系统用于构件寿命预测,从而使本项目的研究更进了一步。 2. 中方将数理统计原理首次应用于构件使用寿命的归纳分级之中,使人工智能系统的预测精度大为提高。这项工作得到人工智能专家米兰·伏尔霍莱克博士的赞许。

因此,腐蚀失效乃是工程中亟待解决的关键、复杂、棘手的问题。同时,也是材料学研究的前沿课题之一。目前世界各国都投入了大量的人力物力进行研究,试图找到预测、评估腐蚀失效的有效方法。

将人工智能系统应用于工业装置的腐蚀失效分析与维护,是有效地解决这一问题的新途径。葡萄牙焊接与质量研究所在腐蚀失效理论应用于工程实践及人工智能研究方面的研究水平处于国际领先地位,而我国则在化工、石油化工、能源、电力、材料等工业部门具有丰富的腐蚀失效案例信息,并拥有大量的从事腐蚀失效研究的科学家和工程技术专家。因此,中葡两国在这一领域的合作具备良好的研究基础和较大的合作潜力,况且,两国都有在这一领域合作的愿望。

(卞吉 秦宝 编)