

# 载人航天的生物医学问题

王金华

(航天医学工程研究所)

自首次载人航天至今已有近二十年的历史了。其间美国发射了三个型号的飞船和一个型号的航天站,飞行71人次;苏联发射五个型号的飞船和一个型号的轨道站,飞行87人次。美苏最长飞行时间分别为84天和185天。总括美苏航天过程中和航天后的研究结果表明,航天条件引起一系列的生理改变。诸如出现类似晕船的综合症状、心血管系统功能改变、水-盐平衡改变、骨组织矿物质饱和度减少、某些生化指标改变、肌肉质量和体重下降、贫血综合症、免疫生物学活性下降等等。对上述改变的深入研究和防治是航天生物医学的根本任务。

## 一、运动病

航天员进入失重状态首先出现的不良反应是头晕、恶心、呕吐、错觉等运动病症状。据统计大约每三名航天员中有一人在飞行初发生程度不同的运动病<sup>[1]</sup>。这给航天员的工作能力造成不良影响。

在美国早期的《水星号》和《双子座号》航天中航天员很少发生运动病,而在《阿波罗号》计划和《天空实验室》计划中运动病发病率却相当高。尤其是《天空实验室》九名航天员中竟有六人发生运动病<sup>[2,3]</sup>。其前后的差异是由于早期飞行和后期飞行的飞行器座舱的容积不同、航天员活动的多少不同而造成的。

苏联航天员在飞行中也观察到了神经-前庭反应的类似变化。与美国不同的是苏早在《东方二号》飞船的飞行中航天员季托夫就发生了运动病,而在后来的《礼炮号》轨道站几次长期航天中航天员的运动病症状却并不严重。在适应失重状态之初除了感到血液流向头部外,没有不愉快的感觉<sup>[4]</sup>。其原因可能首先是个体的生理特征不同,其次是他们在飞行前进行了很好的训练和药物预防<sup>[5]</sup>。

为对抗失重对前庭器官的不良影响,美苏专家采用了如下防治措施:

**采用抗运药** 实践证明,飞行中所采用的大量制剂及其复合作用是有效的。这些抗运动病药物包括阿托品类、抗组织胺化合物、右旋苯异丙胺、吩噻嗪类、盐酸异丙嗪、东莨菪碱、麻黄素、眠尔通、三己芬迪、三甲氯苯扎等。抗运动病药物一般都有副作用,降低航天员的工作能力。苏联专家认为,药物的寻求应以不是简单地抑制前庭的不良反应,而是对适应过程有特殊作用的药物为原则<sup>[6]</sup>。

**通过锻炼提高前庭稳定性** 舞蹈家和花样滑冰运动员可以耐受急速旋转和紧急刹住的事实,有力地说明了前庭锻炼的效果。同时前庭锻炼最好结合视觉装置的特殊训练,以

便改善眼睛的注意力(因为人的视觉注意力在调节前庭反应中是重要因素)<sup>[6]</sup>。

**选拔对前庭作用稳定的人** 根据在相同的环境条件下只有某些人而不是所有的航天员都发生前庭植物性紊乱这一事实及运动病易感性依机体特殊素质而异的假说,所以选拔那些前庭反应稳定者,淘汰那些适应机能不全者是合理的。

**飞行初期避免运动** 几乎所有航天员都注意到头部和身体移动时可加重前庭不适感<sup>[4,5]</sup>。美国的飞行经验尤其证明了这一点。

防护措施的制订应牢固地建立在认识运动病发生机理的基础上。然而现有资料对解释航天运动病的基本机理是不充分的。存在着各种各样的假说,归纳起来主要有以下几种:

——失重时发生前庭紊乱可能是由于无地球加速度情况下由前庭感受器及其他传入系统感受器(听觉、视觉和躯体感受器)到大脑中枢去的信号之习惯模型发生改变引起的<sup>[4-6]</sup>。

——前庭分析器功能异常在发生运动病中起着主导作用。在失重条件下耳石重量丧失,纤维毛没有刺激,失去耳石器对半规管的抑制作用,这就大大提高了半规管的激动性和反应性。因此,任何头部运动都成为较强的刺激<sup>[2,5]</sup>。

——血液动力学紊乱引起的反应。

——中枢神经功能,包括边缘网状复合体适应机能不全是发生运动病的先决条件和内在因素<sup>[4,6]</sup>。

——很多专家认为刺激植物性神经系统中枢是出现运动病的原因之一<sup>[2,4]</sup>。

——生化变化,水盐代谢紊乱的影响。然而对其实质仍未搞清<sup>[2,7,9]</sup>。

综上所述,进入失重状态的几分钟到数天内占相当比例的航天员发生运动病,然后很快适应、症状消失(此过程一般3—7天)<sup>[4,21]</sup>。因此,该问题与飞行时间的长短关系不大。然而鉴于运动病发病率高,而且飞行初期在很大程度上影响航天员的工作能力和生命活动,尤其是对它的机理众说不一,尚未完全搞清,从而大大妨碍了可靠而有效的预防和治疗措施的制定。因此对于运动病的深入研究仍是航天医学的迫切任务。目前正深入开展从神经原水平到大脑整合水平的研究工作。

## 二、心血管系统失调

航天员入轨后立刻引起大量体液重新分布。血液和组织间液体向头部和胸部转移<sup>[3,7]</sup>。这直接影响心脏活动并间接影响循环的调节,致使中央血液动力学及局部血液动力学状态改变;使心搏量和每分血容量在飞行初期增高;小腿充血减少的同时脑血管充血增加;飞行中、后期脑血管动、静脉张力减少;飞行后循环血容量减少、心搏量、每分搏量减少、立位耐力减退<sup>[4]</sup>。在美国《天空实验室》第IV批航天员飞行时胸部充血持续84天之久。进入失重状态后血液重新分布的假说在苏《礼炮-6》第一、二批航天员飞行时所进行的脉搏充血和局部血管张力的研究中得到了进一步的证实。

在《礼炮-4》、《礼炮-5》、《礼炮-6》航天过程中对**安静时**航天员的血液循环指数动态和心脏周期时相均进行了研究。检查表明,在飞行的前半期安静时的心搏量、分钟心搏量

增加、动脉压增高、主动脉传播速度加快、等容收缩时相、排血期缩短<sup>[11,12,10]</sup>。类似的变化也曾出现于以往 30 天、40 天的航天过程中。

在《礼炮-6》第一批乘员 96 天的飞行过程中用自行车功量计进行了**体力负荷试验**。对飞行中航天员的中等强度体力负荷时的血液循环进行了研究,发现心血管系统调节能力减弱,包括心率和动脉压增高,甚至在工作量减少时心内血液动力学也改变,而且在飞行的第一个月末、第二个月初最坏。以前也出现过类似现象。

航天过程中还进行了**下身负压试验**。试验揭示在飞行初期航天员心血管系统对下身负压的稳定性下降:心率、左心房收缩时相结构、心搏量、一分钟血容量、脉波传播速度及动脉压均发生改变。关于这一点美苏的研究结果是一致的<sup>[2,14]</sup>。

《礼炮号》和《天空实验室》航天时所完成的**心电图研究**未发现明显的心电图变化(《礼炮-5》第一批乘员除外)<sup>[13,15-17]</sup>。《天空实验室》所有九名航天员的向量心电图记录表明,除心率不齐外未观察到其他实质性改变。特别是《礼炮-6》第二批乘员 140 天飞行过程中,24 小时连续记录动态心电图,整个过程中对心电图进行了详细研究,也没有显示出任何异常<sup>[3]</sup>。须指出的是《礼炮-5》第一批乘员飞行中心电图的改变。研究表明:(1)航天员心率增加 10—20%。其原因是多方面的,可能是心血管系统对诸多的外环境因素的特殊反应;最可能的原因之一是船上工作繁重造成的精神—情绪紧张,此外还有昼夜节律作息制度的改变。(2)所有航天员出现心动过缓背景下呼吸性心率不齐。(3)从飞行中期开始心房—心室传导时间增长。从 Smich 及其同事们的资料看,《天空实验室》航天员也曾出现过这一现象。(4)心室综合波最末部分明显改变,*T* 波平坦、*ST* 段下降。着陆后上述现象很快消失。现在有很多有关神经体液对心肌代谢过程的影响的研究资料。根据这些资料可以认为,飞行中所出现的左胸导心室综合波最末部分的变化很可能是由于与在失重时工作量繁重背景下神经体液调节障碍有关的代谢紊乱造成的<sup>[13]</sup>。

值得特别指出的是,无论在飞行中还是飞行后心血管系统的反应程度和恢复时间的快慢不是与飞行时间的长短成正比的。它在很大程度上取决于所采取的防护措施完善与否。这些措施包括:体育锻炼;严格地遵守与地面相同的昼夜节律和作息制度;航天员在飞行中穿一种能改善血液重新分布的“重力模拟服”,而在再入之前又穿一种“抗重力服”(这是一种装了橡皮气囊的紧身加压裤,它可以防止直立时血在腿部滞留并消除或减轻着陆后头几分钟里的立位耐力减退的发展);在飞行中给航天员补充氯化钠和液体,以改变水盐代谢,这可提高航天员对下身负压的耐力并提高飞行后立位稳定性<sup>[18]</sup>。上述一系列措施取得了积极的效果。苏最近几次长期飞行后心血管系统的恢复比预期的快。

总之,航天中心血管系统出现一些变化。大部分变化出现在飞行初期,是暂时的,后来就相对地稳定在接近于飞行前的水平上,因此被认为是适应反应。这些变化不影响航天员的工作能力。实践还多次证明,长期航天后心血管系统的变化比短期飞行要小。该系统现有的防护措施也比较成功。

### 三、血液变化

航天员返回地球后的血液检查表明:失重导致血浆容积减少;红血球、血小板、血红

蛋白减少;红血球直径减小;白血球增加<sup>[2,15,20]</sup>。上述改变无生理意义,其机理尚不清楚,而且各次飞行变化程度也各不相同。根据《天空实验室》红细胞质量测定资料分析得知,在飞行初期的30天内红细胞质量减少,而在第60天后逐渐恢复。血浆容积的减少也是暂时的。苏《礼炮-6》的最近两次长期航天结果表明,航天员飞行中的血液变化甚至比过去飞行中的变化还要小,红血球计数和血红蛋白的含量只出现非常有限的减少。尤其有意义的是《礼炮-6》的后三次飞行都超过了120天——红血球的平均寿命期这一期限,证明长期航天对红细胞生成无妨碍,从而解除了人们对红血球(机体和组织内氧气的输送者)的担心。专家们认为,这一明显的阳性结果是由于航天员通过适当地饮水和进行大剂量的体育锻炼保证了足够大的血液循环总容量而获得的。

#### 四、骨骼和肌肉损失

人处于失重条件下的不同阶段对各生理系统状态的影响不同。如前所述,在失重初期前庭障碍和血液的重新分布具有重大的意义。然后,机体逐渐适应,上述改变趋于正常。然而随后失重使骨骼肌肉系统的代谢产生严重紊乱,水盐代谢发生重大变化,体液和电解质平衡被破坏。氮、磷排泄增加和负平衡表明肌肉组织有明显丧失。飞行中,钾、钠、锰、镁也出现明显丧失。骨骼脱钙问题尤其令人焦虑。

从目前国外大量的文献报道看,有关脱钙的严重性问题存在着两种相反的倾向意见。有的指出,骨钙每月持续损失的量占身体总钙量的0.5%,约三倍于长期卧床引起的钙损失量<sup>[19]</sup>。更有些作者指出:“在航天条件下钙的丧失为每月1—2%,而且在一年或数年内不断发展”<sup>[9]</sup>。这就是说,随着航天时间的延长,骨中钙持续性丧失,即所谓“进行性”的。脱钙本身除了增加航天员肾结石的危险外,还会影响骨骼的机械坚固性,使骨骼变得疏松脆弱。而且由于进入血液的钙增加还会导致心脏自动性功能障碍,发生兴奋、血液凝固等危险。因此可以认为,如果脱钙确实是“进行性”的话,那么它将是长期航天的严重障碍。

另一些文献报道则与上述观点截然相反。道格拉斯在《宇宙医学生物学的现状》一文中指出:“在宇宙研究计划的早期人们曾关心骨骼矿物质的丧失和肌肉萎缩,但是长期的《天空实验室》飞行结果是,钙、磷、氯及其他营养素仅有轻微的丧失”<sup>[20]</sup>。《天空实验室》飞行中还发现,飞行3—4周后钙排泄达到最大值,而且后来就维持在这一水平上。在运动减退实验中也获得类似结果,钙的丧失约为4克/月<sup>[21]</sup>。考虑到人体中钙的总含量约为总体重的1.5%,以及支撑运动器官的功能障碍是暂时的<sup>[21]</sup>,所以长达几个月的飞行并不引起危险。苏联《礼炮-6》几次长期飞行结果进一步表明,飞行结束后航天员身体状况极为良好。医学博士阿·叶果夫在175天航行结束后明确指出:“我们的任务是研究逐渐延长失重状态时间对人体的反应,积累所需要的统计数据。现已清楚地了解到,在航天中没有观察到人体在质的方面有什么新的变化或根据人体逗留时间的长短而发生任何进行性的变化”。

正因为上述观点分歧,而且脱钙的机理尚不清楚,所造成的后果又相当严重,所以这个问题是目前航天医学的重大而迫切的研究课题。现在也无法预言载人飞行能否顺利地超越“一年”这一期限。因为据持脱钙是进行性的作者认为,航天员只能飞行一年其骨骼

就会变得疏松脆弱,而在地面上不能支持身体。这只能通过航天实践作出回答。

经过一系列的航天飞行后,航天员的体重大部分下降。体重下降的原因一方面是由于体液损失造成的,另一方面是由于肌肉损失引起的。肌肉损失不单与肌肉萎缩有关,但损失的其他原因尚不清。长期航天后,航天员运动系统有萎缩和张力缺乏性症状,肌肉刺激反射反应增加,髌部周长减少。可以初步认为,钾排泄的增加及其负平衡很可能是肌肉内萎缩过程有所发展和细胞代谢改变的表现。氮和磷在飞行中的排泄增加,也表明肌肉组织有明显丧失。

预防骨骼、肌肉系统丧失的主要措施是加大运动量、延长体育锻炼时间,给运动支撑器,特别是下肢施加体力负荷,使之保持一种锻炼状态。另外,改进食物、增加食物中矿物质的含量,以及在小半径离心机上旋转,产生人工重力以阻止体液和盐类排泄的增加,也是行之有效的。在实际飞行中采用上述措施产生了良好的结果。

## 五、工作能力和心理学问题

为使航天员的工作能力得到最大的发挥,保持其高昂的情绪同保证健康的体质具有同等重要的意义。在长期航天过程中,与社会长久的相对隔绝、体力状况改变、工作紧张单调、活动范围狭小、疲劳等因素,极易引起航天员厌倦、激怒和焦躁不安的情绪,从而降低他们的工作能力。因此美苏在长期航天中对此极为重视并相应采取了广泛的对抗措施:

**安排好航天员的闲暇时间、充实文化生活** 飞船上发行专门的报纸,放映家庭纪事、音乐会以及诸如此类的录相片,进行各种娱乐活动,培植花草蔬菜等,以便使航天员紧张的情绪得到缓解。《礼炮-6》长期飞行的主要特点是,其他航天员(其中包括国际航天员)频繁的来访,除带来食品、燃料和装备外,还带来了邮件和珍贵的友谊。所有这一切被视为航天员的强大“精神支柱”<sup>[3]</sup>。

**采用先进优质装备、建立舒适的工作和生活环境** 《礼炮-6》轨道站最后一个舱的设施非常完善,比如冰箱、舒适的床、淋浴装置、各种文体器具……。一台新的两路电视可使航天员和地面控制中心彼此看见。航天员穿着设计得既科学又合体的密闭真空服感到如同在地面上一般。

**科学地制订、严格地遵守作息制度** 工作能力在很大程度上决定于合理的建立醒觉-睡眠周期。制订作息制度时不仅应考虑到航天员在地面时已习惯的昼夜节律,而且要考虑他们固有的生物节律,使之同步化。另外,飞船上还要模拟昼夜亮度、温度、湿度动态及这些因素的季节变化。

**航天员的选拔和搭配** 选拔时既要考虑到被选人过去的表现,又要注意他在实际考核中显露出来的潜力,从而成功地判断他能否在特定的条件下完成工作。在组织长期航天乘务组时要注意航天员在性格上、心理上的共处性问题。一个和谐友好的乘务组的组成对完成长期航天任务具有重大意义。

**航天员工作能力的监视和控制** 必要时用神经镇静药或其他加强工效的药物。

**合理的制订包括操作系统在内的最适宜的“人-飞船”系统** 这方面的研究应是为了使“人-飞船”系统同人的知觉和运动特征、智能特征及人体测量特征统一起来。人和自

动操纵系统的分工要合理<sup>[45]</sup>。

以上一系列措施帮助航天员在长期航天过程中保持健康的身体、高度的工作能力和平静的心情。使他们不仅全部地完成了飞行任务所规定的科研项目，而且超额完成了计划的许多方面。这些科研计划是异常广泛和繁重的。此外还有轨道站本身的服务工作、设备维修、与地面联系等等。值得注意的是随着时间的推移，航天员的工作能力实际上比飞行初期更提高了<sup>[43]</sup>。

## 六、免疫反应

在航天过程中机体免疫学反应性的变化表现为身体和咽部微生物培养率的增高和某些自然免疫指数的下降。大概是防御性免疫反应的降低促进了美国航天员飞行时传染性和病毒性疾病的发生。同时，在长期航天条件下存在着复合因素，发生变态性和自体免疫性障碍的概率可能要大大提高。

《礼炮-4》第二批乘员飞行后 T-淋巴细胞含量和反应明显下降。类似的反应变化在美国《天空实验室》的飞行中也发生了<sup>[23-25]</sup>。飞行后第二天两名航天员血清免疫球蛋白水平的测定结果表明，血液中 IgA 的含量严重减少。而在过去的观察中美苏大部航天员的 IgA 含量在飞行后没有改变或常常是提高的<sup>[23]</sup>。免疫性研究查明机体对链球菌属和葡萄球菌属免疫原的过敏作用。总之，长期航天后出现了航天员特异免疫反应下降的征象，一般在第七天明显地趋于正常。然而这些变化不总是与飞行时间成正比的。比如《礼炮-4》轨道站第一批航天员的上述变化反应比第二批航天员严重的多，而且持续时间也长。

## 七、辐射影响

当处于宇宙环境的时间增长时，辐射剂量问题变得更重要。早在《阿波罗-11》从月球返回地球时，航天员就曾看到每隔半分钟左右有一次微弱的光点和光闪。这是由于 HZE 粒子穿过飞船和航天员的眼睛，与视网膜相互作用后引起的视觉反应<sup>[4]</sup>。此现象引起科学家们的重视，实验证明重粒子可引起视网膜神经原损伤。正在以此为线索研究长期飞行中重粒子引起人脑神经原损伤的危险性。在《礼炮-6》轨道站上完成 175 天飞行的过程中，航天员柳明和利亚霍夫每人接受的累积辐射剂量竟达 7 雷姆 (Rem)。这个剂量离出现障碍的阈限已经很近了。因此必须认真对待，做一些必要的防护措施，增加座舱壁厚度并建立防护舱，以备太阳暴发时航天员在其内躲避。

综上所述，飞行中引起一系列人体功能变化。这些变化的机理目前尚远未搞清楚。不少学者认为，失重条件下的血液重新分布起主导作用。它几乎对机体的各生理系统都带来不良影响，引起一系列连锁反应。比如它首先直接影响心脏活动和血液循环调节，从而导致一系列血液动力学指数的改变；机体为了适应后者的改变、减轻心脏负荷，只有通过增加排尿来减少体液容积总量，其结果是水、钠、钙、钾通过肾脏排出增加，造成代谢紊乱、使骨质密度和肌肉质量同时降低、体重减轻、循环血液容量和红细胞计数减少；钾的丧失引起心肌细胞应激性增加，致使心率不齐；此外还有一种假说认为，血液重新分布所引起

的血液动力学改变是诱发运动病的重要因素。但也有一些学者提出神经和肌肉系统在失重反应中起决定作用。

为了改善失重条件下的血液重新分布,苏航天员在长期飞行的过程中自始至终(睡觉时除外)都一直穿着一种设计得舒适又简便的带皱褶的弹性紧身裤。这是一种“重力模拟服”。它可以造成下身负压,促使血液流向下肢。另外需再次强调指出的是,大运动量的体育锻炼对长期航天任务的顺利完成起了非常积极的作用。运动器械包括自行车功量计、跑台、拉力器和单杠等;最长锻炼时间美国为 1.5 小时/天,苏联为 2.5 小时/天;运动量相当于每天跑步 2—3 公里和步行 2 公里左右。实践证明,这种大运动量的体育锻炼不仅使机体各系统处于良好的状态,而且大大缩短了返回地球后的再适应时间。

从长期的载人航天实践中可以得出如下结论:人体对航天环境的适应能力是很强的;长达半年之久的飞行不会对机体造成持久性的不良影响;机体在失重条件下所出现的变化是可以恢复的;一些不利因素也可以通过加强防护措施而有效地克服。特别是《礼炮-6》几次飞行后航天员身体状况之好和再适应之顺利是空前的。航天员柳明连续两次上天(分别为 175 天和 185 天),而且相隔时间仅八个月。正是他首先打破飞行后体重增加的记录,而在最近的 185 天飞行中他和另一名航天员波波夫的体重都有所增加(分别为 4700 克和 3200 克)。因此,《礼炮-6》马拉松式飞行的成功,使人们对逐渐延长人在空间的逗留时间的前景感到乐观。

航天医学的研究成果保证了航天计划的有效完成。与此同时,每一次新的航天又为航天医学补充大量的信息源,用以研究生理功能的动态变化,这对于统计学上分析可靠的结论是必不可少的。它们相辅相成,互相推进。今后航天医学的任务仍然是继续深入研究在长期飞行中的不同阶段、不同航天因素作用下机体主要功能的变化、变化速率及它们相互间的依赖性。随着航天技术的发展以及航天医学研究的进步,载人航天将向长期的、大型的航天站发展。这将为进一步深入研究空间生物医学提供方便条件,对生命科学的发展起到不可估量的作用。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Anthony, W. G., *Nature*, **283**, (5747), 525, 1980.
- [ 2 ] Michel, E. L., Johnston, R. S. and Dietlein, L. F., *Life Sciences and Space Research, COSPAR. XIV*, 3, 1976.
- [ 3 ] Oleg Gazenko, *Space World*, p-4-184, 26, 1979.
- [ 4 ] Юганов, Е. М., *Известия Академии наук СССР: Серия биологическая*, С.485, 1976, 4.
- [ 5 ] Корнилова, А. Н., *Вестник оториноларингологии*, С.21, 1979, 6.
- [ 6 ] Солодовский, Ф. Л., *Вестник оториноларингологии*, С.59, 1978, 4.
- [ 7 ] Поляков, П. И., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.3, 1979, 5.
- [ 8 ] Горгиладзе, Г. И., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.3, 1978, 5.
- [ 9 ] Шашков, В.С., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.10, 1980, 5.
- [ 10 ] Дегтярев, В. А., Дорошев, В. Г., Михайлов, В. М., Георгиевский, В. С., Кобзев, С. А., Кириллова, З. А., Лапшина, Н. А., Савельева, В. Г. и Умнова, Л. В., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.11, 1980, 2.
- [ 11 ] Дегтярев, В. А., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.9, 1978, 6.
- [ 12 ] Дегтярев, В. А., Дорошев, В. Г., Лапшина, Н. А., Рагозиц, В. Н., Кириллова, З. А., Понамарев, С. И. и Куликов, О. Б., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.18, 1980, 3.
- [ 13 ] Дегтярев, В. А., Бедненко, В. С., Габышев, В. К., Сапожников, В. А. и Сидоров, В. П., *Косм.*

- Биол. и авиакосм. мед., С.35, 1980, 5.
- [14] Дегтярев, В. А., Андрияко, Л. Я., Михайлов, В. М., Рагозин, В. Н., Адамчик, Ж. Г., Алферова, И. В., Андреев, В. А. и Козлов, А. Н., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.29, 1980, 5.
- [15] Гуровский, П. П. и Егоров, А. Д., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.3, 1976, 6.
- [16] Berry, Ch. A., *Aviat. Space and Environm. Med.*, 47, 418, 1976.
- [17] Smith, R. F., Stanton, K., Stoop, D., Janusz, W. and King P. H., *Aviat. Space and Environm. Med.*, 47, 353, 1976.
- [18] Газенко, О. Г., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.10, 1979, 3.
- [19] Goode, A., *Nature*, 283(5747), 525, 1980.
- [20] Douglas, W. R., *Aviat. Space and Environm. Med.*, 49, 902, 1978.
- [21] Газенко, О. Г., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, 3, 1980, 5.
- [22] Whedon, G. D., *Aviat. Space and Environm. Med.*, 47, 391, 1976.
- [23] Kimzey, S. L., Johnson, P. C., Ritzmann, S. E. and Mengel, C. E., In Aerospace Medical Association Annual Scientific Meeting, Washington, 194, 1974.
- [24] Kimzey, S. L., Johnson, P. C., Ritzman, S. E. and Mengel, C. E., *Aviat. Space and Environm. Med.*, 47, 383, 1976.
- [25] Константинова, И. В., Нефедов, Ю. Г., Еремин, А. В., Дроздова, В. И., Скрыбин, А. С., Гусева, О. А. и Мухина, Н. Н., *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, С.15, 1978, 2.

## BIOMEDICAL PROBLEMS OF MANNED SPACE FLIGHT

Wang Jin-hua

(Institute of Space Medico-engineering)