

载人航天知识丛书

从超重到失重

沈羨云 刘光远 编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

从超重到失重/沈羨云, 刘光远编. —北京: 国防工业出版社, 1997. 9

(载人航天知识丛书)

ISBN 7-118-01766-3

I. 从… II. ①沈… ②刘… III. ①加速度生理影响-研究②失重生理影响-研究 IV. R852.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08189 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 3½ 88 千字

1997 年 9 月第 1 版 1997 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 5.60 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

广袤无际的太空，有史以来就充满着灿烂神奇的色彩，也流传着无数美丽的神话。宇宙的江河源远流长，千百年逝去只是一瞬间。当时光推移到 20 世纪中叶，科学技术获得了迅猛发展，探空火箭已经出现，从而为人类航天事业带来了希望。

1957 年，第一颗人造地球卫星上天；1961 年 4 月 12 日，航天员加加林乘坐“东方”1 号载人飞船在强大火箭的推动下，终于飞出了地球的摇篮！飞船在绕地球飞行一圈后又安全地返回了地面，实现了千百年来人类遨游太空的夙愿；1969 年 7 月 20 日，航天员阿姆斯特朗乘坐“阿波罗”11 号载人飞船在月球上着陆，从此又掀开了月宫的门帘。

载人航天一晃就是 35 年，现在已有 20 多个国家的 320 多名航天员，其中包括我们 4 名炎黄子孙，先后漫游了太空。载人航天器的“家族”日益兴旺，载人飞船、航天飞机和航天站在太空翱翔，空天飞机也有了较为成熟的方案。人类在近地和环日空间的探索和开发活动方兴未艾，却已硕果辉煌。航天高技术是一个国家综合国力的集中表现，它代表着国家和民族的兴衰。我们中国已跻身于世界航天大国之列。现在，我们航天科技工作者在国防工业出版社的大力协助下，向广大青少年朋友奉献出这套 8 本的科普丛书，融科学性、知识性和趣味性于一体，从不同角度介绍了载人航天及其有关方面的一些基本情况，同时字里行间也蕴含着对全国青少年朋友的诚挚期望。

太空在召唤，时代在挑战，中华民族在载人航天事业上一定会 有所作为。前景壮观，任重道远。愿我国年轻的一代立大志，展鸿图，为祖国的航天事业争做贡献！

目 录

第一章 重如泰山	1
一、挣脱束缚,跨出摇篮.....	1
二、载人航天中的超重问题	5
第二章 超重—失重—超重	13
一、进入太空.....	13
二、漂浮的人体.....	14
三、太空中的日常生活.....	16
四、航天中的工作.....	20
五、异样的感觉.....	22
六、定向能力和运动协调.....	25
七、返回地球的一天.....	27
八、失重降低了航天员的超重耐力.....	29
第三章 失重时人体的生理变化	32
一、没有重量的血液.....	32
二、模拟失重.....	35
三、航天“血瘀证”.....	37
四、航天员飞行后为什么不愿站立.....	48
五、空间运动病.....	51
六、支架强度降低.....	55
七、肌肉动力减弱.....	59
八、抗病能力下降.....	65
九、水的平衡.....	69
十、航天员的心理障碍.....	73
十一、人能长期地生活在太空中吗?	81

第四章 失重的防护措施	88
一、严格的选拔和训练	88
二、飞行前和飞行中的医疗保障	91
三、飞行后的康复和治疗	101
四、人工重力	102

第一章 重如泰山

一、挣脱束缚,跨出摇篮

1. 美好的憧憬 人类是地球上的生物,从最原始的生命物质进化发展成现在人类这样的高等动物,整个进化过程都是在地球表面的大气、温度、日照、重力等条件下完成的,人类的主体结构、生理功能也都是在这些条件下形成的,并且对这些条件达到了高度的适应。如果把地球比作人类的摇篮,那是最恰当不过了。但是,人类并不满足于只在地球这个摇篮中过舒服日子,总想跨出地球去探索新的天地。人们只要一睁眼、一抬头,首先看到的就是天空。天空是那样的清澈深邃,似乎伸手可及而又无边无际,于是人们把许多美好的想像都寄于天空,将其称为天堂。可是,现实生活中人最多也只能跳起数尺高,怎样才能进入那美妙的天堂呢?于是就有了夸父追日、嫦娥奔月之类的神话。据说 14 世纪末有一个叫万户的人,他在椅背上装了好多个火箭,自己两手各持一个大风筝坐在椅子上,叫别人点燃椅背上的火箭,想借此飞上天去。不幸的是非但没能飞上天,自己反而送了命。这可以说是最早的“上天”实践。虽然结果是悲剧性的,但这种勇于探索的精神却是值得敬佩的。大约 500 年以后,1891 年的夏天,一位德国工程师利林塔尔两手抓住用柳条编成并蒙上一层布的大翅膀迎风跳起,在空中飘了 15m 远。后来又经过多次试验,居然可以滑翔数百米了。不幸的是在后来的试验中他也献出了生命。此后,在 20 世纪最初的几年中,美国的莱特兄弟制成了装有发动机的飞机,才第一次实现了带有动力的主动飞行。

如果说早期的这些飞行尝试更多的是出于美好的幻想,那么近代的航空和航天实践则是以高度发展的科学技术为基础并带有明确的目的。100年来,飞机已从原始的滑翔翼发展成各种不同用途的高性能民用和军用飞机。1961年前苏联的航天员加加林乘坐世界上第一艘宇宙飞船“东方”号进入宇宙空间,实现了人类第一次绕地球轨道飞行。自此以后美国和前苏联已经进行了二百多次的轨道飞行,并在空间作了长时间停留。前苏联的航天员在“和平”号空间站中曾停留长达367天。至此,可以说人类已经实现了跨出摇篮的第一步。

2. 挣脱束缚,克服地球引力 人类要飞离地球进入宇宙空间之所以困难重重,其根本原因在于地球表面的万物都处于地球的引力场中,每时每刻都受着地球引力的束缚,要想飞离地球必须克服这种束缚。

根据牛顿的万有引力学说,任何物体之间都存在着相互作用的引力,它们的关系为

$$\text{引力} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

式中 m_1 和 m_2 分别为两个物体的质量, d 为两物体质心之间的距离, G 为万有引力常数。从式中可以看出,引力的大小与两个物体质量的乘积成正比而与两个物体质心距离的平方成反比。地球的质量和半径是一定的。地球表面的万物有大有小,质量和密度也不同,它们和地球之间的相互引力也就千差万别。那么,如何更方便地表述地球的引力呢? 根据牛顿著名的力学公式 $F=ma$, 当这些物体处于近地空间时,它们和地球之间的引力就要把它们拉向地球。因为 F 和 m 是同时改变的,故它们的加速度 a 都是相同的,经过测量,得知这个加速度的数值大约是 9.81m/s^2 。这样,我们就可以方便地用这一加速度值表示地球与它表面上任何一个物体(不管它的质量大小)之间的引力关系,它的代号是 g 。物体与地球之间的引力就是它的质量 m 与 g 的乘积、即 mg ,而这正是要飞离地球所必须克服的束缚力。

克服这种引力束缚的最直接最简单的办法是对物体施加一个大于 mg 并与其方向相反的外力。但是这种办法有一个致命的缺点,就是这一外力作用一旦停止,物体就又被地球的引力拉回地面。另外一种办法是沿与地面切线平行的方向施加一个外力,把物体加速到一定的速度,使它沿地面弧度运行而产生一个向心加速度。这时

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

式中 a_c 为外力作用产生的向心加速度, v 为沿地面弧度切线方向的速度, r 为地球半径(物体离开地面的高度与地球半径相比非常小,因而可以忽略不计)。从这个式子中可以看出,如果物体达到的速度 v 恰好使向心加速度 a_c 等于 g , 物体离心的惯性力恰好与 mg 方向相反而数值相等,物体就可以围绕地球运行,既不离开地球飞向远方,又不会被地球拉回地面。一旦该物体达到这一速度,即使外力作用停止,物体仍可以这一速度继续绕地球飞行。如果没有其他外力阻止物体,物体就将永不停止地围绕地球飞行。通过简单的计算就可知这个速度为

$$v = \sqrt{9.81 \times 6\,371\,000}^{\text{①}} = 7\,910\text{m/s}$$

这个公式非常有用,人造地球卫星和载人航天飞船的绕地轨道就是通过此公式计算的。由于这个速度只能实现近地轨道飞行,只是迈向宇宙空间的第一步,所以称为第一宇宙速度。同样道理,如果要挣脱地球的引力场而飞向太阳系内的其他天体,大约需要 $11\,180\text{m/s}$ 的速度,这称为第二宇宙速度;如果要摆脱太阳系的引力场而飞向其他星系,就需要大约 $16\,700\text{m/s}$ 的速度,这称为第三宇宙速度。

3. 重如泰山与轻于鸿毛 为了使物体达到上述速度需要有一个加速过程。在这个加速过程中,重力条件发生了变化,物体的

① 地球半径约为 $6\,371\,000\text{m}$ 。

重量不再像静止于地面时那样仅仅取决于地球的引力,而是取决于地球引力及因为加速而形成的惯性力的矢量和。如果用 ma 来代表物体的惯性力,即

$$W = mg + ma$$

为方便起见,人们把这种新的重力状态与静止在低地球表面时的重力状态相比较,并把他们的比值用 G 来表示,即

$$G = \frac{mg + ma}{mg}$$

当 $G=1$ 时称为标准重力状态, $G>1$ 时称为超重状态, $G<1$ 时称为低重状态, $G=0$ 时为无重状态,也称失重状态。实际上为了挣脱地球引力而进行加速时, a 往往比 g 高出许多倍,其矢量和 G 也将达到很高的数值。这时整个航天器及处于其中的人体的重量都要增加许多倍,可以说是“重如泰山”了。

航天器进入轨道以后,推动它的外力作用停止。这时它绕地球飞行的向心加速度恰好与地球引力形成的加速度大小相等且方向相反。其重力状态为

$$G = \frac{mg + ma}{mg} = \frac{mg' - mg'}{mg} = 0$$

故处于无重(或失重)状态中。实际上近地空间的大气密度虽然很低,却不等于 0,航天器飞行时会遇到极其微弱的阻力,所以 G 并不是 0,而是一个很微小的数值,一般在 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 之间,人们称它为微重力状态。这时航天器内人体的重量也可以说是“轻如鸿毛”了。

航天器完成轨道飞行任务后返回地面时,一般先利用反推力降低轨道高度,再利用低空稠密大气的阻力进行减速,使其速度减低到可以安全着陆的程度。减速与加速的性质是一样的,只不过方向不同罢了。在减速过程中将再一次遇到高 G 值超重,人体将又一次经受“重如泰山”的考验。

4. 重力的生物效应 生物体的结构是非常复杂的。即使是原始的单细胞生物,其内部除细胞浆外还有细胞核、内质网、线粒体等密度不同、形状也不同的结构,高度进化的高等动物的身体结构则更加复杂。它们一般都有一个中心骨架,周围附着有硬度、弹性、形状各不相同的各种组织和器官,有些器官是中空的,里面充满流动的液体。生活在地球表面的高等动物其身体结构和生理功能的特点都是在地球表面的重力条件下经过亿万年的进化和发展逐渐形成的,并且与这种重力条件达到了高度的适应。重力是一种矢量,它既有一定的量值,又有一定的方向。不论是量值还是方向发生变化都会对生物体内不同结构的相互关系以及体内的物理或化学过程产生影响。高等动物中除了直接的局部作用外,还有更加复杂的全身性影响。高等动物一般都有专门感知重力的器官,它们向神经中枢传递重力变化的信息,再由神经中枢进行整体性调控。如果重力变化不大,身体内部经过调整还可以在一个新的水平上达成新的适应。如果变化过大,超出身体适应的能力,就会产生有害的影响。

二、载人航天中的超重问题

1. 发射与返回 载人航天过程中的超重主要发生在航天器的发射和返回过程中。为了把载人飞船发射入绕地轨道,一般都采用多级运载火箭。第一级火箭开始燃烧时,由于整个火箭的自身重量很大,加速度值很小。随着燃料的消耗,飞船重量逐渐减轻,加速度值逐渐加大,第一级火箭燃料逐渐耗尽,燃烧停止,第二级火箭开始燃烧,重复上述的过程。然后是第三级火箭的燃烧和加速过程。一般来说,经过这样的三级加速过程,已经足以把飞船加速到 7.910m/s 的第一宇宙速度,进入绕地轨道。在这种加速过程中,飞船和其中人体的重量都会相应地增加而处于超重状态。

早期运载火箭每级的燃烧时间较短,所达到的加速度峰值较

高,由此所致的超重峰值可高达7~9G。近年,随着火箭技术的发展,每级火箭的燃烧时间适当延长,超重峰值得以明显降低。

载人飞船完成轨道飞行以后返回地面时,一般先使飞船底部朝前,然后利用反推火箭减低速度和降低轨道高度。当反推火箭停止工作时,飞船的前进方向与原来轨道之间形成一个夹角,称为再入角。这个再入角是飞船再入大气层时的关键因素。飞船再入大气层时主要是底部受空气的阻力而逐渐减速。开始时高空大气密度很低,减速值很小。随着高度的降低,大气密度逐渐增加,阻力逐渐加大,减速值也逐渐加大。达到一个峰值以后由于速度已经减低,减速值也逐渐降低。整个过程形成一个半正弦曲线状的减速曲线。早期的弹道式再入的再入角一般取 1.5° 左右,减速过程约持续二百多秒,超重峰值可达9~10G。随着航天技术的进步,近年来飞船返回过程中大都采用升力的弹道式再入,虽然在大气层中飘行较远,持续时间较长,超重峰值却可以大大降低,甚至降到不超过4~5G,这对人体的耐受是十分有利的。而航天飞机由于采用了滑翔返回技术,时间持续得很长,超重峰值可以降到2G以内,对人体的影响更是微不足道了。

2. 超重对人体有什么影响 在飞船的发射和返回过程中会出现这样高的超重,也就是说人的体重要增加许多倍,这对人体有什么影响呢?人是否能耐受?这主要可以从以下几方面来讨论。

(1)对心血管系统的影响。重力的生理影响主要表现在心血管系统功能方面。心血管系统是一个密闭的系统,沿身体纵向分布,其中充满血液。心脏的搏动使血液经过主动脉、动脉流向全身各组织和器官,在其中又经小动脉、微动脉、毛细血管,然后由微静脉,小静脉汇集,经腔静脉流回心脏。动脉管壁较厚,管腔较小。特别是在末梢部位的小动脉和微动脉处,管腔非常之小,管壁中有丰富的平滑肌,可以在神经调节下收缩和舒张,以控制各部位的血流。静脉管壁很薄,管腔较大,平时并不完全胀满。血液在动脉中流经小动脉和微动脉时遇到阻力,因而在上游动脉中形成一定的压力。

这就是一般所说的血压。心脏收缩时血压一般可达 16kPa (120mmHg), 称为收缩期血压, 简称收缩压。由于小动脉和微动脉处的阻力, 心脏收缩时泵出的血液不能立即全部流过。距离心脏最近的主动脉具有很大的弹性, 这时被胀大而将未能流出的血液暂时储存起来, 当心脏舒张时, 由于主动脉的弹性回缩, 血液仍然可以继续流动, 其血压大约是 10.6kPa (80mmHg), 称为舒张期血压, 简称舒张压。人体全身血量大约有 5L , 其中 80% 存于静脉系统中。超重对心血管的影响主要是流体静压作用的增加。什么是流体静压呢? 举个简单的例子, 如果我们将一个装满水的试管竖起来, 由于管中的水有重量, 在试管内不同高度所受的压力是不同的, 每一点的压力等于水的密度 ρ 、重力加速度 g 和水的深度 h 的乘积, 即流体静压为 ρgh 。我们可以把人的血管比成盛满血的管子, 由于流体静压的作用, 人体不同部位的压力是不同的, 它和人体的体位有很大关系: 当人平躺时, ρgh 中的 h 基本等于零, 流体静压的作用很小, 脑和脚血管中的平均动脉压基本相同, 人站立时流体静压将使人脑部的动脉压降低, 使脚部的动脉压升高。

在超重作用下, 流体静力作用增加了, 按照重力作用的方向和 G 值的大小, 身体各部的血压将发生相应的变化。例如, 当重力作用方向是由头至脚, 即沿身体的 z 轴时称为 $+G_z$ 。这时, 相对于静压参考点来说, 头部血压将降低, 足部血压将升高。其变化幅度为 $\pm \rho Gh$, 式中 ρ 为血液的密度, h 为所考虑的部位与静参考点之间沿重力作用方向的距离。人体的静压参考点大约在横膈稍下处, 但为了方便, 一般习惯于将心脏部位作为静压参考点。如果是静站在地面上, G 值为 1 , 作用方向为身体 z 轴, 即为 $+1G_z$ 。这时以眼部为代表的头部血压将降低大约 3.3kPa , 足部血压将升高到约 16kPa 。假如人心脏的水平收缩压为 16kPa , $+4G_z$ 时头部将只有 2kPa , 足部将高达 80kPa 。虽然静脉原来血压很低, 受重力的影响却是一样的, 由于颅腔是坚硬的, 头部静脉血压降低可能因为虹吸作用而对维持头部动脉血压有少许帮助。足部静血压高, 使大量血压淤积在下肢静脉中, 这将严重影响静脉血的向心回流, 使心脏充

盈不足,血输出量降低,从而使动脉血压进一步降低。如果头部血压过低,大脑供血不足,轻则引起视觉障碍,重则可能导致意识丧失。当然,在这种情况下人体内会发生一系列代偿反应以克服这种影响。不过,代偿反应是有一定限度的, G 值过高就不能克服了。一般人在 $+3.5 \sim +4G$ 时会出现视觉障碍,称为“黑视”, $+5G$ 以上可导致意识丧失。

当重力作用方向是由胸至背,即沿身体 x 轴时称为 $+G_x$ 。这时,头、心脏、脚处于同一水平,各部之间没有静脉血压梯度差,即使 G 值很高也不会出现差别,所以不会出现供血不足和足部静脉曲张的现象。本来人在 $+1G_x$ 情况下站立时,大约有 500mL 的血液瘀积在下肢。当重力方向由 $+G_x$ 转向 $+G_z$ 时,由于身体各部静脉血压梯度差消失,这些血液将涌回身体上部,主要容纳于胸腔内的肺和心脏中,这时心脏就会加快搏动将积血排出。如果 G 值过高,肺内积血再加上胸廓受压,胸腔内压力将大幅度升高,从而引起抑制性反应,心跳频率反而会受到抑制而减慢,甚至出现节律失调,进而影响循环功能。一般来说,这类变化只有在较高的 $+G_x$ 时才会达到较严重的程度。所以,人对 $+G_x$ 的耐力比对 $+G_z$ 的耐力高得多。

(2)超重对呼吸功能的影响。人的呼吸主要是由肺实现的。肺位于胸腔内,通过胸廓的径向胀缩和膈肌的上下移动,使空气经过气管吸入和排出。气管逐渐分支成为无数的小支气管,在每个小支气管的末梢部与一个微小的肺泡相通,每个肺泡外面都被微血管包围着,肺泡壁和微血管壁都非常薄,几乎只是一层细胞构成的薄膜,仅能阻挡血液通过,气体却可以很容易地渗透。人体代谢产生的二氧化碳在这里可以由血渗入肺泡,肺泡气体中含有的氧气也可以在这里渗入血液。这样,肺泡就成为气体交换的场所。心脏每分钟由左心室排出大约 5L 的血液分布于全身,同时右心室经肺动脉也排出同量的血液流向两侧肺中。两个小小的肺中流过的血量竟与同时间内流过全身的血量相等。这些血液与不断吸入的空气,在肺内进行气体交换。不难理解肺泡内的血流量与通气量必须

维持一定比例(称为通气灌流比)才能维持正常的气体交换。在正常情况下,这种通气灌流比大约为 0.85,这足以把动脉血中血红蛋白的氧饱和度维持在 96%。以上结构和功能保证血液向身体各部组织输送足够的氧。在超重作用下上述的情况就会受到影响。

超重对肺中血液循环有明显影响。在 $+G_z$ 作用时,肺中血液都流向肺底部,将肺泡压缩到很小,肺尖部的血流大大减少,甚至完全没有血流,肺泡也被周围的负压涨得很大。这样一来,肺尖部呈现有气无血状态,通气灌流比变得很高,有时甚至可达 3 以上;肺底部却呈现有气无血状态,通气灌流比降得很低,甚至还不到 0.6;只有肺中部一个狭窄的区域尚能基本维持正常的通气灌流比。这种情况当然会对气体交换造成不利影响,使血氧饱和度明显降低。实验结果表明在 $+3G_z$ 时血氧饱和度可以降到 80% 以下。当重力作用方向为胸—背(即 $+G_x$ 时),胸廓受压更为直接。又由于腹部器官的挤压作用使膈肌被推向胸腔,二者相加就明显限制了呼吸动作。同时肺内血液也淤积在肺的背侧底部,使肺的前上方有气无血,明显改变了通气灌流比,从而影响到气体交换效率,使血氧饱和度明显降低,有的实验结果表明在 $+5.4G_z$,血氧饱和度降为 85%。 $+G_z$ 值更高、持续时间更长时,还会降得更低。

(3)超重对工作效率的影响。人的各种活动都会受重力作用的影响。人已经习惯于在 1G 条件下进行各种活动,一旦重力条件发生变化,动作的精确度就会受到影响。例如,当人在 1G 的标准重力条件下用小标枪投掷前面的靶子时投掷点的平均偏差不大,但在超重时投掷点就会偏低。

在载人航天飞行中重力会有大幅度变化,各种动作,特别是操纵飞船的精细动作,会受到不同程度的影响。例如,实验证明当人处于坐姿,并用手操纵扶手上的小驾驶杆,面对前方显示器上的光点运动进行跟踪时,他的跟踪误差随着 $+G_z$ 值的增加而增大。在同一实验中还证明了如果将座椅后仰,使重力矢量由以 $+G_z$ 为主逐渐转变为以 $+G_x$ 为主,就可以使重力对跟踪动作的影响减轻。

这种现象说明,除去重力对手臂的直接影响外,还可能由于重力使头部供血不足而影响精细的跟踪动作。当重力矢量逐渐变为以 $+G_x$ 为主时,对头部供血状态的影响明显减轻,对跟踪动作的影响也相应地减轻了。

航天任务完成以后飞船返回地面的过程中会遇到一系列复杂的动力因素。这时如果自动控制失灵,就需要由人来进行手控,所以仔细研究重力对工作效率的影响,并找出防护措施是非常重要的。

3. 载人航天中对超重因素的防护措施

(1)合理的体位。既然人体对沿胸-背方向超重($+G_x$)比对沿头-足方向超重($+G_z$)的耐力高,在航天飞船中如果使人体与重力矢量处于大致垂直的关系,也就是使重力大致以 $+G_x$ 为主,不是可以使人耐受较高的重力吗?实际上,迄今为止在各种型号的载人航天飞船中都是采用这种办法。具体来说就是使飞船舱体的纵轴与发射时的加速度方向一致,并使人体躺在舱内躺椅上。这样,在发射阶段当飞船被加速时,重力作用方向恰好是由胸到背,即为 $+G_x$ 。当飞船返回地面再入大气层时,由于是底部朝前,人体受到的超重仍然是 $+G_x$ 。实践证明,并不是完全平躺效果最好,而是当重力矢量与人体纵轴的夹角为 75° 时最好、最理想。这时既可以有效地减轻由 $+G_z$ 分力($G_z \sin \theta$)引起的头部供血不足,又不致于出现由 $+G_x$ 分力($G_x \cos \theta$)引起的呼吸困难和心脏节律失调。所以,设计飞船躺椅时一般都是以此为基础,再考虑其他有关因素(例如再入大气层时为了利用升力而设定的配平角)作适当调整。这样的安排不仅使人体可以顺利地耐受发射和返回时的超重,即使出现紧急情况,飞船作应急返回时遇到更高的超重值,也不致出现严重问题。

(2)航天技术的提高。实验证明,在满足一定的加速过程的前提下,较低的 G 值和较长的作用时间,比较高 G 值和较短作用时间对人体更为有利。如前所述,经过航天技术的不断改进,发射时的 G 值已由早期的 $7 \sim 9G$ 降低到不超过 $5G$,再入时由于利用了

升力,减速超重值也由早期简单弹道式再入的 $9\sim 10G$ 降到 $4G$ 。尽管作用时间要相应延长,但人体的负荷却可以大大减低。近年来的航天飞机在技术上又有了进一步提高,发射时的超重峰值只有 $3G$,返回时由于采用滑翔式再入,超重峰值还不到 $2G$,人体耐受更不成问题了。这说明不断提高航天技术才是解决载人航天中超重问题的根本措施。

(3)航天员超重耐力的选拔与训练。人和人之间,对超重作用的耐受力是有很大差别的。有的人在 $+3G_z$ 时就会昏迷,有的人却可以耐受 $+5G_z\sim +6G_z$,仍保持视觉明亮、头脑清醒。有的人在 $+6G_z$ 时就会感到胸痛和呼吸困难,甚至出现心脏节律失调,有的人却可以耐受 $+12G_z$ 而不出现不良的生理反应。因此,选拔超重耐力高的人当航天员,也是一种十分有效的预防措施。超重耐力的选拔即测定被选者在 $+G_z$ 和 $+G_x$ 作用时的基础耐力。所谓基础耐力是指人在承受超重作用时,全身放松,不做任何对抗超重的动作,完全依靠体内生理系统的反应来对抗超重时所能耐受的超重值。要检查超重耐受力,可以在一个模拟重力的设备——人体离心机中进行。所谓人体离心机就是一种特殊设计的利用旋转产生离心力的设备,旋转臂的半径一般为 $6\sim 8m$,旋转臂的外端有一个座舱,被试者坐在座舱中,离心机旋转时,坐在舱内的人体将受到地球引力和离心惯性力的作用,二者的矢量和即为重力。通过调整离心机的转速,就可以改变 G 的数值;调整被试者在座舱中的体位,就可以改变重力作用于人体的方向。一般认为如果一个人能承受 $+4.0G_z$ 及 $+12G_x$ 而不出现生理不良反应,就可以安全经受上述航天飞行所遇到的超重了。这样的人选出后,还要经过严格的训练才能进行航天飞行。训练的内容包括两方面,即一般的体能训练及与对抗重力直接有关的特殊训练。前者可以提高人的体质,后者可以提高人的超重耐力。例如,在腿肌和腹肌用力的同时努力屏气,可以升高动脉压,从而使 $+G_z$ 耐力提高大约 $1.5G$ 。腿肌和腹肌需要长时间锻炼才能加强,而呼吸动作与肌肉用力的协调也需反复训练。又如,膈肌用力下沉以对抗 $+G_z$ 作用时,腹部脏器向上

推挤,明显减轻胸部疼痛,从而提高 $+G_x$ 耐力。这种动作平时很少遇到,需经反复训练才能掌握。经过这样一系列选拔和训练的航天员,就可以顺利而安全地执行航天任务了。