

微重力生理学的研究进展

朱宝安, 周艺, 谭 信

北京理工大学生命科学与技术学院, 北京 (100081)

Email: tanxing@bit.edu.cn

摘 要: 本文回顾微重力生理学的诞生及发展, 对地面研究微重力模型进行了综述。从心血管系统、免疫系统、运动系统、神经系统、内分泌系统和生殖系统六个方面重点对微重力对生命体的影响及研究进展进行了总结。最后对微重力生理学的研究的意义进行了阐述并微重力生理学进行了展望。

关键词: 微重力生理学, 模型, 研究进展

1. 引言

几千年以来, 人类就有摆脱地球引力去太空遨游的梦想, 许多先行者在这方面作过勇敢的尝试。然而在人造卫星出现以前, 人们只能在地面隔着大气层对太空进行观察, 总有一种“鞭长莫及、隔靴搔痒”的无奈^[1]。1957年人类的第一颗人造卫星上天, 开创了人类真正探索太空的新纪元, 同时也标志着现代空间科学的诞生。1961年4月12日莫斯科时间上午9时07分, 前苏联宇航员尤里·加加林乘东方-1号载人飞船被发射到距地面301公里的太空, 在绕地球飞行一圈后安全返回地面, 从而实现了人类千百年来遨游太空的梦想。1969年, 阿波罗-11号首次将美国宇航员送到月球表面并安全返回地球。伴随着空间科学向载人航天的发展, 一门新兴的学科航天医学 (Spacemedicine) 诞生了。对人体有影响的太空条件主要是辐射和微重力。辐射可引起细胞损伤和基因突变, 只要有足够的防护即可不造成损伤。但是微重力的影响十分广泛且无法排除。伴随空间科学向载人航天的发展和航天医学 (Spacemedicine) 诞生, 作为航天医学的分支微重力生理学也诞生了。它不但是航天医学的基础而且还是生物学的延伸。

2. 微重力生理学的诞生和发展

19世纪法国人Knight (1806)和Dfluger(1883)发表了由离心机产生的超重力(hypergravity)于植物和卵母细胞的影响的论文。虽然这些实验因条件所限而所得的结果有限, 而且也没有造成很大影响, 但是它们却从一个侧面反映了人们对探索空间生命科学的极大兴趣(Cogoli, 1991,1996)。

微重力生理学作为航天医学的分支, 它的形成是伴随着人类开展载人航天活动而形成和发展的。1948年, 美国组织了一次有航天医生和生命科学专家参加的关于“空间旅行的航空医学问题”讨论会, 探讨空间飞行可能面临的医学问题及风险。1948年美国探空火箭“Blossom”搭载了-一只名“Albert”的猴子, 标志着利用航天器进行空间生物学的开始; 1949年2月9日在德克萨斯的美国空军航空医学院成立了航天医学系^[2]。从此便开始了有关空间生物学、医学和技术应用科学的规划和研究时代, 微重力生理学便应载人航天的需要而逐步形成了。

前苏联的科学家们在1951-52年先后搭载了9只狗上天飞行, 终于在1957年一只名叫“莱卡(Laika)”的小狗在空间存活了一周。在1961年前苏联第一艘载人飞船升空, 这标志着人类开始系统研究空间生物。在随后的二三十年里面载人的空间活动进入了一个新的时期, 加加林乘东方-1号载人飞船在距地面301公里的太空, 绕地球飞行一圈。阿波罗-11号首次将

美国宇航员送到月球表面并安全返回地球。都是这一时间的标志性事件。与此同时航天医学的研究也开展的有声有色。美国利用可重复使用的航天飞机携带各种专业性实验舱进行了短时间的多人次的医学观察,并成功的专项空间实验室飞行,包括日欧在内的多国科学家进行了大量实验。1986年苏联发射了和平号空间站除了吸引了19个国家的航天员参与飞行和进行空间实验外,还由医生航天员玻里雅创造了438天的空间飞行记录为未来的太阳系探测活动所需的长期飞行提供了极其宝贵的航天医学知识和方法^[3]。苏联还发射了一系列的生物卫星,利用动、植物进行大量的空间生命试验,并提供了一个国际合作进行空间科学研究的重要手段^[2]。

3. 地面研究重力变化对生物体影响的模型

航天重力生理学是伴随着航天医学的发展而形成的。宇航员在入轨后,重力几乎完全消失,处于一种失重状态,重力因素从另一方面影响人的生理功能。这样,超重和失重对人体的影响就构成了重力生理学的全部内容。航天医学主要研究这两种因素对人体的影响,探讨其机理及制定有效的防护措施,以保证航天任务的完成。因此,研究重力改变对生物体的影响,尤其是微重力的影响是航天事业发展的需要。同时,通过此项研究,对于了解重力在生物体进化中的作用,也有重要的理论意义。

3.1 建立地面研究重力变化对生物体影响的模型的原因

在太空中进行飞行实验又是不现实的,主要有以下几个原因:(1)在太空中进行生物学研究的费用很高,不可能专门进行生物学和医学的研究。(2)航天过程中除微重力因素外,还有超重、振动、噪声、辐射、舱内气体环境、有害物质等对被测对象都有影响,影响实验结果的分析。(3)生物体、尤其是人的个体差异大,需进行多次重复实验才能发现其规律性。(4)每项研究需要有此学术领域的专家参加,并有各种专门的科学仪器,航天中不具备此条件。因此,在地面上建立模拟重力变化的模型是十分必要的。

3.2 地面研究重力变化对生物体影响的主要模型

地面上减少重力作用的模型很多,但所有的模型都是处于地心引力的作用下,不能完全地消除重力对生物体的作用。因此,这些模型只是模拟重力作用减少时生物体的变化。主要有以下几种方法^[4]:

(1)自由降落 物体在空中向地面自由降落时的重力为0,但由于自由落体的时间很短,故产生的失重时间也很短,一般只能维持数秒钟.一般是用于航天工程学方面的研究,很少用于航天医学研究。

(2)慢回转器 主要用于体积小的植物和胚胎。它的原理是通过缓慢旋转,改变重力作用于实验标本的方向,使单位时间内作用在标本上的合力为0。

(3)模拟微重力影响的动物模型:

① 限制动物活动动物养在一个狭小的笼内,使动物不能采取直立姿势,或切断神经使其瘫痪,或通过外科的割腱术,使肌肉不承重。或是用绑带和石膏将动物固定。此方法适用于各种实验动物如猴、狗、兔、鼠等。它可以模拟失重所产生的运动减退对动物的影响,但体液头向分布的影响小。

②兔头低位倾斜法将兔放到一个用金属构架制成的、稍大于兔体的笼子内。通过调节笼子后部的挡板,背部的压板和颈部的卡环,使兔头伸在笼外,兔身体固定不动,并可根据实

验要求,将兔笼倾斜到任意角度。它的优点是兔子较舒适,易进行耳脑、球结膜微循环的观察,抽血和喂药容易。③脱水航天员在飞行后,血浆容量下降,出现了脱水现象,它对心血管系统及红细胞的生成都有影响。因此,在进行航天血液学变化机理的研究时,有时采用脱水方法,即几天内不给动物饮水,造成动物体重减轻、血细胞压积增加和血浆容量减少。

④座椅法 这种方法主要用于非人的哺乳类动物——猴。如果实验的目的是研究运动减少对机体的影响的话,就可以用长时间地(几天至几周)坐在椅子上模拟微重力的影响。在座椅实验时,猴坐在或半躺在一个特制的椅子上,限制手臂和腿的运动,其限制程度取决于实验中猴所需要完成的任务。坐位时减少流体静压对心血管系统的影响和肌肉骨骼系统的载荷,其对机体的影响与航天的影响很相似。

⑤鼠头低位尾吊法 其方法是将鼠的尾部吊起,头向下悬挂,一般与地面成30度角,前肢着地,后肢完全解除负荷。研究结果表明鼠尾吊后所出现的上身器官质量明显增加、循环系统紊乱、立位耐力降低、骨质脱钙、肌肉萎缩、免疫功能下降等变化与航天微重力对人的影响一致,是目前应用最广泛的动物模拟微重力模型。

(4) 人模拟微重力模型:

①卧床 卧床实验是在特殊的卧床实验室中进行的。卧床前一周,被试者就进入卧床实验室,以习惯实验的环境和饮食被试者在卧床期间除大便外,不得离床,身体只能仰卧或平躺,头不能抬起,只允许手部活动,严格时连大便都在床上进行。卧床的角度是0~12度(即头低位12度),甚至更低。卧床的时间从几小时至400多天。目前研究的结果表明头低位6度卧床所引起的生理变化与航天中航天员的变化更类似,因此大多采用6度卧床的方法。

②浸水 在特制的水槽中,水槽温度控制在33-34℃,含盐量1%~2%。被试者浮在水面(坐姿或卧姿),或穿特制的服装潜入水中,浸水时间一般是2-20d,遥长达56d。由于浮力,人在水中重量减轻,产生了类似于失重的漂浮感。同时,浸水所产生的生理效应如体液再分配、立位性低血压、肌肉活动减少、代谢降低等与失重产生的影响十分相似,因此可作为模拟失重的方法之一。长时间浸水可以引起皮肤的浸溃。苏联采用了一种“干浸法”,即将被试者放在一种特制的、高弹性和不渗水材料制成的薄膜上,使身体与水完全隔开。并可以把各种传感器和电极固定在人身上,进行医务监督或测试。浸水的不足之处是人浸在水中,由于身体的各部分不在同一水平上,水压对人体各部分的影响不同,这将影响到生理变化。完全浸在水中的人,需要加压呼吸,这些都是附加的负荷,对人是一种新的刺激。浸水模拟失重方法多用于训练航天员和进行人工工效学的研究。

4. 微重力对机体产生的影响及研究进展

4.1 心血管系统

航天过程中的微重力暴露及长期卧床可导致机体出现心血管功能失调等症状,其主要表现之一是立位耐力不良。虽经几十年的大量研究,飞行后立位耐力不良的机理至今未得到充分阐明,已有的结果表明任何单一因素都不能圆满解释立位耐力不良的发生机理。目前普遍认为其机理涉及多重机制,是多因素共同作用的结果。如血容量减少,骨骼肌萎缩,静脉顺应性下降,压力感受器反射调节功能改变及动脉系统功能改变等。

80年代后期,Hargens^[5]等提出,失重或模拟失重状态下,不同部位动脉血管的跨壁压力及血流量所发生的改变可能会引起相应的血管重塑及功能改变。随后,Delp^[6]等的研究结果证实失重或模拟失重可导致动脉系统功能改变,且其改变是立位耐力不良的重要原因之一。然而

有关失重或模拟失重是如何导致动脉系统功能改变的研究却很少报道。Delp[6]等认为模拟失重可导致血管平滑肌收缩结构改变而引起血管收缩反应性下降,这种改变可能包括钙调素蛋白表达,肌球蛋白轻链激酶活性及肌纤蛋白浓度下降。Kahwaji^[7]等的研究提出,非受体酪氨酸激酶参与了悬吊诱导的大鼠血管对 NE 的低反应性,提示受体下游的信号转导通路异常可能是尾吊大鼠血管反应性降低的原因之一。

4.2 免疫系统

宇宙飞行可影响航天员免疫系统功能,导致细胞免疫功能减低,但是,体液免疫功能变化不明显。目前,对于宇宙飞行导致航天员免疫系统功能改变的可能机制,主要集中于太空复合因素以及由其引起的神经-内分泌系统改变对免疫系统的直接和间接影响^[8]。

① 宇宙飞行对细胞免疫功能影响 已有的研究表明,宇宙飞行过程中,航天员体内的带状疱疹病毒可被重新激活,导致病毒感染。Stowe 等^[9,10] 研究发现,宇宙飞行后的航天员血循环巨细胞病毒和 EB 病毒抗体滴度增加,尿液中巨细胞病毒数量增多。Mehta 等^[11] 通过 PCR 分析宇宙飞行前后 8 名航天员的水痘病毒感染情况,其研究了 312 个唾液标本发现,宇宙飞行前的 112 个标本中只有 1 个阳性,飞行期间和飞行后的 200 个标本中有 61 个呈现阳性,而 10 名健康对照者的 88 个标本中无一阳性。这些研究表明,太空环境中,潜在的病毒可被重新激活。而且,宇宙飞行过程中,由细胞免疫介导的迟发型超敏反应(delayed type hypersensitivity, DTH)也受到了明显抑制^[12]。机体内,病毒防御和 DTH 主要是由细胞免疫介导的,宇宙飞行过程中,航天员潜在病毒被重新激活以及 DTH 受到抑制均提示细胞免疫功能可能有所减低。可见,宇宙飞行可能导致航天员细胞免疫功能减弱。

②宇宙飞行对体液免疫功能影响 上世纪 80 年代, Voss^[13] 研究在 STS29 上飞行 10 d 的航天员发现,试验过程中,循环 IgG、IgM、IgA、IgD 和 IgE 水平有较小波动,但宇宙飞行没有引起航天员免疫球蛋白水平产生显著性变化。随后 Stowe 等^[14] 研究宇宙飞行 8~15 d 的 16 名航天员,也得到了相同的结论。而且,模拟微重力条件下,人体循环免疫球蛋白和补体水平也未发生变化^[15]。总的来说,宇宙飞行和模拟微重力条件下,人体循环免疫球蛋白和补体水平未发生显著性变化,机体体液免疫功能变化较小。

4.3 运动系统

航天员所受重力被空间飞行产生的惯性力相抵消,相应的骨骼负荷减少,从而导致航天员骨质丢失,即微重力诱导的骨质减少或骨质疏松^[16]。空间飞行中的微重力或模拟微重力导致人和动物骨质疏松的机制尚不很清楚。激素水平、局部活性生长因子和血流的改变起一定作用。激素水平、局部活性生长因子和血流的改变起一定作用,另一机制可能涉及成骨细胞在微重力条件下的细胞行为改变。伴随模拟或实际微重力,血流向头部的转移可能影响骨血流量、改变间质液的压力和流动,这可能诱导骨重建^[17]。空间飞行研究数据主要源自不同物种的几种成骨细胞的实验,在微重力条件下培养的成骨细胞,其基质蛋白、生长因子和受体的基因表达发生了改变。Hughes-Fulford等^[16]发现小鼠成骨细胞系在空间飞行中细胞数量减少。细胞感受重力变化的机制还是一个很大的谜。理论上,重力可通过直接效应(细胞内的重力依赖性改变)或间接效应(依赖于重力的ECM 改变)而被感受细胞所感知。

另外,微重力或失重条件下,肌肉可发生明显的萎缩,主要是由于失重诱导肌肉蛋白合成和降解调节的紊乱,表现为肌肉的质量的减少,而且肌肉萎缩程度与性别、肌肉类型和失重的时程等因素有一定关系。失重环境下基因的转录、表达均发生变化蛋白质的合成过程一

致包括蛋白基因的转录、mRNA的表达及肌原纤维的装配修饰,因此,合成过程中每一步骤都会影响最终蛋白的质量。失重环境下,蛋白质的降解主要是通过非溶酶体途径。非溶酶体途径包括ATP依赖性与非ATP依赖途径两种途径。在非ATP依赖途径主要为钙离子依赖性。失重环境下,肌浆网对钙离子的摄取率下降,影响了细胞内外的钙离子的平衡,使肌细胞内的钙离子的浓度显著上升。从而使蛋白质的降解加速。

4.4 神经系统

人从地球重力环境进入太空微重力环境后全身血液及体液重新分布,引起脑部循环状态和重力感受系统的变化。这种失重引起的生理效应不可避免地会对脑的功能状态产生一定的影响^[18]。以往对微重力条件下认知功能改变的研究方法主要有两种:①采用信息加工的观点,在失重或地面模拟失重条件下,研究特定认知过程的变化,如空间定向、物体识别、运动协调和学习记忆等;②采用心理测量的方法,在飞行前、飞行中和飞行后等阶段对不同的认知功能进行多次评定,包括注意、学习记忆、推理和计算等,以探讨在航天过程中认知操作的总体变化,又称为操作监控。

fMRI 作为20世纪90年代发展起来的脑功能成像技术,利用人体血管内的血红蛋白作为内源性对比剂,通过血氧饱和度的变化而成像,可在活体实时地观察脑的激活区,对人脑进行功能定位^[19]。在以往的研究中,模拟失重或失重状态前后对认知功能的影像存在有不同的结论。“和平号”空间站的两次研究结果表明,失重没有改变记忆的循环过程,航天员的行为随着训练而熟练,与地面对照组受试者的行为表现相似,提示失重没有损害潜在的学习能力^[20];但是,一些现象却表明失重可降低学习记忆能力,例如,俄罗斯航天员报告在飞行的头半个月,出现紧张、有效记忆能力减退、忘记5 min前发生的事情、遗忘地面上已掌握的知识等现象。半个月后航天员头脑开始清醒,身体状况也得以好转^[21];Manzey等^[22]重复记录了8 d飞行中1名航天员飞行前、中、后行为的变化,发现单项跟踪任务和双项任务明显受损,Manzey认为,航天时精神活动过程和较高级的注意能力特别易于受到扰乱。魏金河等^[23]的研究表明,在头低位倾斜条件下,受试者在视觉选择性反应任务中的正慢电位变化与头高位时有所不同,提示在模拟失重条件下,与注意相关的脑功能发生了某些变化,如主动抑制功能降低。吴大蔚等发现,将大鼠尾部悬吊后,与对照组相比,它们在水迷宫和跳台实验中的成绩下降,尤其是早期尾部悬吊后,这表明模拟失重条件对大鼠的学习记忆能力有不同程度的影响。

4.5 内分泌系统

我们对于空间内分泌学知之甚少,目前对于空间内分泌学中9个系统或轴系的研究现状为:空间飞行早期,骨骼快速脱矿质化,3个月后导致不良作用;与压力反应有关的下丘脑-垂体-肾上腺轴系的分析不确定;空间飞行中大鼠的生殖功能正常,但还需更多的了解;生长激素在鼠体内分泌减少,而在宇航员体内不减少;甲状腺激素和三碘甲状腺原氨酸减少,并有轻微的甲状腺机能减退现象;调节水及电解质平衡包括利尿激素和两个利钠肽的功能在空间都表现反常,与红细胞生成素有关的对红细胞团的调节以及空间贫血至今未得到解释;交感神经系统中的肾上腺素、去甲肾上腺素和多巴胺活性增高;另外,胰岛素敏感性降低,这种现象在空间移民之前需要研究^[24,25]。值得一提的是,一些内分泌系统在空间所经历的变化与成熟过程经历的变化很相似,但在返回地面的几周或几个月内即开始恢复,尤其是在调节骨骼与肌肉代谢、生殖代谢系统等方面。显而易见,空间内分泌学中的所有领域还需要进一步的研究。将来的研究能够使我们了解在缺失“重力因素”下,假定的内分泌亚系统将会发生什么,

这将为我们提供对内部自我平衡机理的较为全面的理解。

4.6 生殖系统

目前,关于微重力对雄性哺乳动物生殖功能的作用的资料有限并且具有争议。雌鼠的飞行实验表明,当母体暴露于微重力时,胎儿能够生长和发育。另外分析可知,与精子形成有关的细胞对空间飞行因素表现出较强的阻抗。对出生前13~18 d 在宇宙飞船飞行的雄鼠进行观察以及对终变期中期的精母细胞的胞质基因分析表明:飞行鼠精母细胞的胞质基因有0.9%相互转位,而地面对照组有0.5%相互转位。还有研究报道,空间飞行不适合怀孕的宇航员,一系列因素(包括辐射) 作用于胎儿发育是这个建议的诱因。此外,影响胎儿发育的其他因素还包括有毒的化学物质、微重力、妊娠意外、呼吸气体混合物的改变以及妊娠宇航员从任务中解压。未来的太空旅游需要超出地球环境范围的生殖,这就有必要鉴定与生殖有关的潜在困难。显而易见,重力因素确实影响生物的生殖和发育,但仍需进一步研究重力是如何影响哺乳动物,尤其是人类的生殖和发育^[26,27]。

5. 微重力生理学研究的意义及展望

随着航天事业的发展,宇航员在太空停留的时间越来越长,这就为空间科学提出了严肃的问题。由于太空中重力的改变,使机体长期处于微重力状态下,这就不可避免的使机体产生一系列适应性生理变化。这些变化可能危及宇航员的健康,因而引起各国航天医学界的重视。微重力生理学研究的意义在于发现因重力的改变造成机体改变的机理,进而通过对机理的分析找到有效的防护措施。减少宇航员在太空中长期工作对身体造成的伤害。

与载人航天活动相适应,微重力生理学研究将会继续把重点放在微重力因素对生命体作用的机理上,以理解重力在生命活动中的作用。另外研究重力改变生命体发育的影响也将是研究的重点,包括生命周期,重力敏感系统的发育,神经系统的发育及神经可塑性的研究等。细胞、分子生物学的发展也为微重力生理学的研究提供了很好的平台,因此微重力生理学的研究将会是从整体到细胞、亚细胞和分子水平的多层次的研究。

参考文献

- [1]胡文瑞。空间科学发展与展望[J]。科教天地 2004, (19): 56~58。
- [2]任维,魏金河。空间生命科学发展的回顾、动态和展望[J]。空间科学学报 2000, 9(20): 48~50。
- [3]葛力,高利,等。1986至1990期间在和平号空间站上的主要研究成果[J]。宇航学报, 1993, 29(8): 581-585。
- [4]沈焱云,唐承业。研究航天重力变化对生物体影响的地面模型[J]。中国航天 1997(12): 19~23。
- [5]Hargens AR, RW Millerd, K Pettersson, et al. Gravitational Haemo dynamics and oedema prevention in the giraffe [J]. Nature, 1987, 329(6134): 59~60。
- [6]Delp Michael D, Marybeth BrownM, Harold Langhlin, et al. Rataortic vasoreac- tivity is altered by old age and hindlimb unloading [J]. J Appl Physiol, 1995, 78(6): 2079~2086。
- [7]Kahwaji CI, Sheibani S, Han S, et al. Evidence that simulated mic- rogravty may alter the vascular nonreceptor tyro sine kinase second messenger pathway [J]. Proc west pharmacolsoc, 2000, 43: 75-77。
- [8]耿传营, 向青, 唐劲天。宇宙飞行对航天员免疫系统的影响[J]。中华航空航天医学杂志 2005, 3(16): 67~71。
- [9]Stowe RP, Mehta SK, Ferrando AA, et al Immune responses and latent herpes virus reactivation in spaceflight [J]. Aviat Space Environ Med, 2001, 72(10): 884~891。
- [10]Stowe RP, Pierson DL, Feedback DL, et al. Stressinduced reactivation of Epstein-Barr virus in astronauts Neuroimmunomodulation, 2000, 8(2): 51-58。
- [11]Mehta SK, Cohrs RJ, Forghani B, et al. Stress-induced subclinical reactivation of varicella zoster virus in astronauts[J]. Med Virol, 2004, 72(1): 174-179。
- [12]Gmunder FK, Konstantinova I, Cogoli A, et al. Cellular immunity in cosm- onauts during long duration

- spaceflight on board theorbital MIR station [J]. Aviat Space Environ Med, 1994, 65(5):419 ~ 423.
- [13] Voss EW Jr. Prolonged weightlessness and humoralimmunity[J]. Science 1984 ,225(4658) :214 ~ 215.
- [14]Stowe RP, Sams CF , Mehta SK, et al Leukocyte subset s and neutrophil function after short-term spaceflight[J]. Leukoc Biol,1999,65 (2):179 ~ 186.
- [15]Schmitt DA, Schwarzenberg M, Tkaczuk J, et al .Head-down tilt bed rest and immune responses [J]. Pflugers Arch,2000,441(223 Suppl): R79 ~ 84.
- [16] 孙联文, 庄逢源, 微重力导致航天员骨质疏松的研究进展[J]。中华航空航天医学杂志 2004, 3(15): 54~58。
- [17]Hughes-Fulford M, Lewis ML. Effects of microgravity on osteoblast growth activation[J]. Exp Cell Res,1996,224(1):103 ~ 109.
- [18] 刘刚, 金真, 等。模拟失重状态对人脑认知功能的影响[J]。中华航空航天医学杂志 2005, 9 (16) : 161~164。
- [19]Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation[J]. Proc Natl Acad Sci USA ,1990 ,87 (24) :9868 ~ 9872.
- [20] Leone G, Lipshits M, Gurfinkel V, et al. Is there an effect of weightlessness on mental rotation of three - idimensional objects ? [J]. Brain Res Cogn Brain Res,1995,2(4):255 ~ 267.
- [21]Eddy DR, Schiflett SG, Schlegel RE, et al. Cognitive performance aboard the life and microgravity space lab[J]. Acta Astronaut, 1998,43 (326):193 ~ 210.
- [22]Manzey D, Lorenz B, Schiflett SG, et al. Dual - task performance in space : results from a single - case study during a short - termspace mission[J]. Hum Factors,1995,37(4):667 ~ 681.
- [23]魏金河, 赵仑, 严拱栋, 等。头低位倾斜条件下与视觉选择反应关联的正慢电位变化的时间空间特征[J]。航天医学与医学工程, 1998, 11(3): 157-161。
- [24] Adams GR, Haddad F, Mc Cue SA, et al. Effects of spaceflight and thyroid deficiency on rat hindlimb development: expression of MHC isoforms[J]. Appl Physiol,2000, 88 (3) : 904 ~ 916.
- [25] Strollo F. Hormonal changes in humans during spaceflight [J]. Adv Space BiolM ed,1999, 7(2):99 ~ 129.
- [26] Jennings RT, Baker ES. Gynecological and reproductive issues for women in space: a review [J]. Obstet Gynecol Surv, 2000, 55 (2):109-116.
- [27] Ronca AE, Alberts JR. Physiology of a microgravity environment selected contribution: effects of spaceflight during pregnancy on labor and birth at 1 G [J]. Appl Physiol, 2000, 89 (2): 849 ~ 854.

The Progress of Research about microgravity physiology

Zhu Baoan, Zhou Yi, Tan Xin

College of Life science and technology, Beijing Institute of Technology, Beijing (100081)

Abstract

In this paper, firstly looks back the birth and development of the microgravity physiology and summarizes the studying microgravity models on the ground. Secondly sums up the influence of the microgravity upon the life body and the research progress from the cardiovascular system, immune system, the sport system, nervous system, the endocrine system and urogenital system six aspect. Finally, elaborates the meaning of the research of the microgravity physiology and looks out to the microgravity.

Keywords: microgravity, model, research progress

作者简介:

朱宝安(1979~), 男, 山东济南人, 硕士, 主要从事微重力对生命体影响的研究;

谭信(1956~), 通讯作者, 男, 教授, 硕士生导师, 北京理工大学特殊医学研究所所长。