



重力与生物进化

赵小青 王静波

(北方工业大学理学院 北京 100041)

从 35 亿年前澳大利亚西部瓦拉伍那群中诞生了作为地球上最早的生命证据——微生物至今,经过自然淘汰、选择、变异、分化等变迁,地球上目前已约有 1 亿种的生物,其中包括了最高级的动物——人类。在这漫长的生物进化过程中,地球板块的移动、大气环境的改变等诸多因素都起着至关重要的作用,而其中重力的影响更是不能忽略。

在距今约 5.1 亿年前的寒武纪,藻菌植物开始从海洋中移居到陆地上,植物不断地完善着适应陆地气生环境的组织和结构。而与重力环境有关的问题就是没有了水的浮力,植物需要产生自己的支撑体系。

科学家的研究发现,植物的根总是向土地深处生长,而茎总是指向天空。这种植物生长的向地性是与地球引力有关的。植物具有这种性质,说明植物的某种器官中可能有一种特殊的、能够感受重力的东西,它可以引起生理反应而调节植物生长的方向。进一步的研究发现,在植物根部细胞的胞浆中有许多可以感受重力且比重较大的平衡石,它是使植物具有向地性的重要因素。例如,当把根水平放置时,平衡石将沉向下方,把细胞中的高尔基体挤向上方,因此上部细胞膜比下部细胞膜生长得快,所以根将向下弯曲。由于这种向地性,植物在陆地上扎下了根。

经过漫长的进化,陆生植物最终完成了由水生到气生的飞跃,从此我们的地球开始变得郁郁葱葱、生机盎然,这也为动物从水生到陆生的进化创造了条件。但是,动物是组织结构较植物复杂得多的生物,因此动物从海洋到陆地是生物进化历程中的一次大突破。

在距今约 3.7 亿年前的晚泥盆纪,动物由水生到陆生的进化历程开始了。而动物能够离开水体在陆地上生存的必要条件之一,就是要有能在气生状

态下支持身体的四肢。当水生动物来到陆地时,身体没有了水给以的平衡,原来完全可以忽略的重力变得非常重要。尽管在此之前重力也作用于水生动物,但由于水的浮力,使其作用不明显。水生动物生理系统的复杂性基本上受控于动物的质量、表面积、体积等物理参数。例如,水中高速捕食者的外形发展为流线型。而现在无所不在的重力第一次没有受到平衡,重力将妨碍运动,歪曲形状。动物要想在陆地上自如运动,最重要的是发展其骨骼系统。

骨骼是动物身体的支架,骨骼肌是动物活动和对抗重力所需的器官。陆地动物的骨骼和肌肉需要承担几乎其全部体重,而水生动物因为水的浮力,骨骼和肌肉的负担就大大减轻了。因此,动物要在陆地上生存,其体重中的骨重比例必定要大于水生动物。考古研究表明,在 2.9 亿年前的晚石炭纪出现的爬行动物已经有了适应重力环境的较完善的骨骼系统。这些动物的骨骼大多数已为硬骨,其分化程度更高。爬行动物的脊椎分化为颈椎、胸椎、腰椎、荐椎和尾椎,椎体的数目、强度和灵活性均有所增加。此时的爬行动物已具有 2 块荐椎,以宽阔的横突连接腰带,而有些进化的爬行动物的荐椎数目甚至已增加到 8 块。很明显,荐椎的加强与爬行动物后肢承受体重有关。爬行动物的颈椎、胸椎及腰椎都具有肋骨,且大多数有胸骨。由胸椎、肋骨及胸骨组成的胸廓起到了保护内脏的作用,以支持软组织结构的不稳定集合,从而防止由于重力压迫而造成的结构坍塌。

对于质量较大的动物来说,为了在重力作用下维持其有利的体型,身体需要由强度较大的结构支持。例如,恐龙、河马和大象,其巨大的身躯在重力的作用下需要什么样的四肢来支撑? 如果我们将动物的四肢理想化为均匀的圆柱体,根据物理学的力矩平衡理论,可以得出哺乳动物的体型学说: $r =$

$Cl^{3/2}$ (其中, r 为动物的腿径, l 为动物的身长, C 为系数)。由此可得到生物体的长度和腿径随生物体质量变化的比例关系: $l \propto m^{1/4}$, $r \propto m^{3/8}$ 。这说明拥有巨大身躯的动物只能有短粗的四肢, 体重很小的动物才能有细长的四肢。

曾经有些研究者怀疑出现在距今 2.08 亿年前, 作为当时陆地统治者达 1.2 亿年之久的恐龙当时是否生活在陆地? 问题就是源于恐龙的四肢能否在陆地上支持自己的身体? 按照比例关系估算, 体重约为 30 吨的马门溪龙, 腿径达 48 米左右; 而被称为世界之最、体重为 80 吨左右的腕龙, 其腿径竟达 65 米左右。为此研究者认为, 恐龙应过着半水生生活, 像现在的河马一样, 平时生活在水里, 靠水的浮力来支持它们巨大的身体。由此推断, 巨大的恐龙应该有宽阔的脚, 以至可以在河底或湖底的淤泥上支撑体重。但是, 考古并没有为此提供证据, 并且巨大的恐龙化石与较小的恐龙化石一样, 一般都是保存在非水的环境中。因此, 这些巨大的恐龙只能是以粗壮的四肢在陆地上行走的巨无霸。

就在动物从水生向陆生进化时, 520 万年前出现白鳍豚却从陆生转为水生, 为什么呢? 请听听它们的回答: “为什么我们想回到水里去呢? 在陆地上我们不得不支持自身体重, 不得不制作工具, 不得不学习生存的技巧, 看来, 我们在水里生活得更好一些。”这不仅说明了生物进化的多样性, 也从另一个方面说明了动物从水生向陆生进化的艰难。

随着时间的前行, 生物的进化也在缓慢地进行。物种越来越丰富, 形态越来越高级; 终于在距今 500 万年前的时候, 又一次重大的进化发生了, 人类的祖先——直立行走的阿法南猿诞生了。动物由匍匐转为直立行走是生物进化的又一次大突破, 但是直立行走的人类受到了重力的考验。在人类脱离动物界而成为地球主人的过程中, 功不可没的直立姿态, 一直在对抗使原始人类返回四足动物的重力的威胁。

为了能够克服重力的影响直立行走, 人类在不断地完善、发展着自身的系统。首先是肌肉骨骼系统, 人的直立需要动员体内大量的抗重力肌, 因此人的肌肉组织结构逐渐完善, 分化产生了颈缩肌、嚼肌、网上肌、背伸肌、腹肌、膝踝伸肌等; 分隔胸部和腹部的横膈肌变得强大, 使之能够支持胸部的脏器; 臀肌获得大发展, 以加强两肢行走所必需的推力。人的直立行走使人体器官的受力发生了变化, 骨骼

系统也发生了相应的改变。脊椎从颅骨的出发点的枕骨大孔前移, 从而位于脊柱之上, 不需要强大的颈部肌肉予以附着就可以达到平衡; 脊椎移向身体内侧; 脊柱呈 S 形弯曲, 以缓冲直立行走时地面对头部的震动; 骨盆变宽, 以支持内脏器官及妊娠时的胎儿; 股骨和胫骨由于要支持身体的重量, 开始变大, 而且股骨和躯干的垂直线成一个角度, 使得人在行走时, 身体的重心接近于中轴, 保证步行的稳定性。

其次是心血管系统, 人体的心血管系统是一个充满血液的密闭系统。当人处于直立状态时, 由于重力的作用, 将会有部分血液向下流动。例如, 正常成年人全身的血量约为 5 升, 当人处于直立状态时, 约有大于 500 毫升的血液将向下肢流动, 下肢的容积将增加, 导致下肢的静脉压增加, 头部的负静脉压降低。为了克服重力的影响, 保证头部的供血, 人体的横膈肌位于人体身高的几何中心的上部, 使心脏靠近头部。心脏血液的输出量约为每分钟 5 升, 这是为了保证人体各个器官的生理需要, 是人类在重力条件下经过长期进化而形成的。

第三是前庭系统, 直立行走的人, 其运动状态更为复杂, 运动空间自由度增大。因此人对运动的取向、姿态的感知控制是十分必要的。前庭系统就是一组高度进化的重力感受器, 它位于人的内耳, 其中的耳石可以感受不同方向直线运动的重力变化, 而按 3 维坐标配置的 3 个半规管可以分别感受 3 个坐标方向上的角加速度, 它们互相配合, 可以感受任何方向的运动的重力变化。人的前庭系统已在长期的进化过程中与其所处的重力状态达到了高度的适应, 在日常生活中起着帮助人体维持正常体位和调节各种复杂运动的重要作用。

几百万年过去了, 人类在与重力的抗衡中, 没有屈服于重力, 而是形成了较完善的生理系统。并且由于直立行走, 人类的大脑得到了发展, 最终成长为最高级的动物。现在, 和对空气的感觉一样, 人并没感到重力的存在。但是, 人类并未完全摆脱重力的影响, 重力仍是影响地球生物圈的一大要素。动物学的研究表明, 哺乳动物的理论寿命应是其生长期的 6 倍。家畜符合这一规律, 而人类和长颈鹿却不符合, 两者的生长期各为 20 年和 6 年, 但平均寿命分别只有 70 岁和 15 岁, 都远未达到 120 年和 36 年的理论寿命。这说明人和长颈鹿的生理系统在重力环境下仍有难以克服的缺陷存在。如前所述, 当人体直立时, 重力附加的血压将使心脏以下的血管胀

现代物理知识

大而滞留 500 毫升的血液,使血液循环的总血量减少 10%~15%,心脏负担因此加重,随着时间的累积而最终导致疾病。目前已发现,痔疮、下肢静脉曲张、内脏下垂和脑溢血等人类特有的疾病都与人类独特的直立姿态有关,这也是大运动量的直立运动反而有损于运动员寿命的原因之一。所以,平时若能多进行一些保持躯干平行于地面的水平体育运动,则可以消除重力对人体血液循环造成的阻碍,对人们的健康长寿将大有好处。

随着航空器的出现,人类本已基本适应的重力环境又发生了变化,出现了超重、失重状态。在改变了的重力环境中,人类的生理系统可能有部分失效,从而使各系统的正常机能遇到障碍甚至被破坏。例如,在常重状态,人体内血液和体液的分布是不均匀的,下部密度大。但若处于失重状态,人体头部的血液量将增加,会感到脸肿鼻塞,甚至出现红视;若处于超重状态,则腿部和脚部的血液量增多,头部血液量减少,造成脑供血不足,出现黑视。又如,飞机直线飞行中突然加速,飞行员会将惯性力与地球引力的合力方向感觉为地球引力方向,因此产生上倾错觉,从而引起错误的飞行动作,产生危险的后果。所以,为了人类航空和航天飞行,必须要人为地改变重力环境,研究人类的生理系统随重力改变的规律,才能保证飞行的安全。

宇航器的诞生实现了人类离开地球到太空去的梦想,同时也激发了人类到太空中去生活的愿望,科

学家们也正在积极探索人类在宇宙空间生存的问题。如果地球向太空移民成功,那么未来生活在宇宙空间的宇宙人与地球人相比,它们将如何进化呢?由于摆脱了重力的影响,失重将是生理发生重大变化的原因,人体组织和器官的功能及其面貌将发生很大的变化。航空与空间医学专家加埃塔塔·罗通多教授作了这样的描述:处于失重状态的宇宙人“由于体内液体的重新分布,将有大约 2 升的血液从腿部移向胸部和面部,因此面部将变圆,眼睛增大,结膜变红;鼻孔充血;面部、脖子、手臂和手静脉扩张,同时脖子更长更宽;脑部血流量增多;胸部短而宽,膈膜上升,导致已变小的心脏沿水平方向移动;脊椎失去生理弯曲,椎间空隙增大,身高将增加几厘米;由于移动不再需要克服重力,腿部肌肉将发生萎缩,腿将变得细小,有点儿像‘母鸡的爪子’,腿部静脉曲张将不再发生;骨骼出现脱钙现象;血液中红血球和血红蛋白的数目将减少,产生‘太空贫血症’。”显然,宇宙人的生理系统必须发生改变以适应新的重力环境。

当然,由于科学技术的发展,在人类的进化过程中,人类已经变得可以依赖工具和身体以外的装备去作用于自然界,以使自己能“适应”生存环境。而以体质特征去适应环境已经变得不那么重要了。但是,人类对重力环境的适应,还必须要靠人类自身生理系统的进化来实现,如同人类已经走完的几百万年的进化历程,重力还将继续伴随着人类前行。

欢迎投稿,欢迎订阅

2003 年的《现代物理知识》,继续设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学随笔和科苑快讯共 8 个栏目。欢迎大家向这些栏目踊跃投稿。恳请大家注意:稿件请用方格稿纸誊写,用微机打印的则请单面打印并留 1.5 倍的行距;外国人名地名,请译成中文,有必要保留外文名称时则在文中首次出现时将外文用括号括在中译名后面,图表中的外文也尽可能地译成中文;文稿中的插图最好单独成页,并在文稿中的相应位置标上插图的编号;文稿无需附“摘要”和“关键词”等,一般也无需附“参考文献”,只需附上英文题目和作者的汉语拼音姓名;请注意语言规范,例如,“其它”一律改为“其他”,“公里”改为“千米”,“公斤”改为“千克”,数字和百分数尽量采用阿拉伯数字,除了书刊名称用书名号外,一般文章的题目则用引号。

在邮局漏订或需要过去杂志的读者,请按下列价格汇款到《现代物理知识》编辑部(100039,北京 918 信箱现编部)补订。1992 年合订本,18 元;1993 年合订本,18 元;1995 年合订本,22 元;1996 年合订本,26 元;1993 年增刊,8 元;1994 年增刊,8 元;1994 年附加增刊合订本,36 元;1996 年增刊,15 元;1997 年合订本,30 元;1998 年合订本,32 元;1999 年合订本已售完,尚有 1、4、5、6 期单行本,每本 3 元;2000 年附加增刊合订本,38 元;2000 年增刊,10 元;2001 年合订本,48 元;2002 年合订本,48 元;2003 年,每期 7 元,全年 42 元;《微观绝唱:量子物理学》,每本 10 元。以上所列,均含邮资或免邮资。