

生物系统中的振动过程及其应用

欧 阳 怡

(中国科学院力学研究所, 100080, 北京)

生物系统无论从微观细胞、器官直至整体都可以看作作为一个动力系统。生命在于运动,如果运动停止,生命也就终结,这是对生物系统最概括的描述。当然生物运动的形态是多种多样的,但周期运动(即振动)是最常见最本质的形态,因为振动与人类及动物的进化,生存及死亡有密切关系。它是一个非常复杂并具有综合性的问题。不久前产生的新学科——振动生物学^[1],就是用振动理论及数学作为手段,研究生物系统自身的动力特性及振动信号对活器官的影响,引起了许多专家学者及医生的广泛注意。经过多年的研究与经验的积累,认识到振动作为外界干扰的因素,不仅对人类有害,而且还有可利用的一面,但后者的研究工作,相对来说较少,而且目前尚处于经验及资料积累阶段,极待加强这一具有诱人前景的研究课题的工作。

1. 前言

生物系统中的振动问题的研究,至少有两个世纪的历史,早在18世纪英国医生、哲学家达维·哈特里(D. Hartley, 1705—1757)在其《对人的观察》一书(1749)中就提出了思维形成是振动过程的假设,按此假设,人对外界干扰的反应,是在脑和神经的物质中产生微小的质点振动,并指出振动的属性是神经系统所固有的,如同其他物质世界一样,如声、电等是物质质点的振动,因此神经质点的振动也是一个物理过程,现在已经确认,神经纤维具有电的性质,当其由静态过渡到激发态时会产生变化。另一方面人类及动物的进化,生存及死亡与振动有密切关系。生物是一个非常复杂而且有综合性的系统,无论从宏观分类,如植物、动物和人类,这些系统具有生命现象是最令人感兴趣的力学-化学过程,还是从微观分类,如细胞、基因等也是如此。正如[2]中所提到的“生物在其形态和功能两方面都是自然界中创造出来最复杂最有组织的物体,……,它们可以说是历史的结构,因为它们能记忆在过去的长期生物进化过程中获得的形态和功能。……”。其原因是由于系统中存在多种运动形态,如机械运动,化学反应、电及磁等现象,有时这些现象耦合在一起,还具有较强的非线性性质。但无论具有什么样的形态和功能,它总是可以看做一个动力系统。另一方面生物系统特点之一是在时空中具有“自组织”性,目前要确切回答它的定义还有困难,但一般来说它的含义有下面几方面:(1)组成系统的元素能增殖(繁

殖)或复杂化,并改变其行为节奏;(2)活的组织具有改变生存条件的适应性;(3)自加速过程(自催化作用)性质;(4)过程还伴随有对称破缺及增加有价值的信息量。从某种意义上说自组织属于协同生存论的范畴,它还存在于热动力不平衡系统中。因此描述自组织行为最有效的方法还是要在动力学系统理论上建立起来,从力学角度而言,非线性振动理论,概率论及随机过程等可作为具体分析问题的工具。

研究上述问题是因为生物界,特别是人类就象生活在一个各种形式的振动环境中^[3],是地球经常起作用的物理因素,为了人类的生存,化消极因素为积极因素,势必提出研究这种力学因素如何与生命系统相互作用的,这些频率大小不等的振动干扰如何被活组织所接受,有时候成为破坏因素,而有时候相反成为有益的因素,这类问题自然引起了广泛的兴趣。

2. 生物系统的振动过程

生物系统范围太广泛,大到群体的活动,单个的动物或人,小到生命的某个器官组织或更微小的细胞中都存在振动过程,这里不可能一一列举,仅引述一些典型的各种层次的振动情况,说明它的存在。

2.1 生物群体的振动现象。对抗共处模型,这是早在1931年由沃尔特拉提出的^[4],又名“捕食者-被食者”模型。设想一群啮齿类动物分两类,一类为食肉类捕食者即山猫,一类为食草类为被食者即山兔,最初假定有足够数量的山兔供山猫食用,这时山猫有用于繁衍后代所必需的食物,山猫的数目会增加,而山兔的数量会减少,此时由于山兔与山猫相遇机会减少,结果山兔的数量又一次增加,此前由于食物减少,山猫数目亦会减少,如此周而复始,不断循环,两种动物数量必定出现周期性的变化,但彼此有一个相位差,即为振动过程,这个推理已经得到事实的验证。

类似于这样的模型在其他生物组织中亦存在,只要是两种对抗因素共处于一系统中,如细菌与噬菌体之间亦有类似的情况。

2.2 生物器官的振动过程。大家熟悉的人的听觉系统——耳朵就是一个很典型的振动系统。它的构造非常复杂,而其工作过程又非常细微精确,至今尚未完全揭示其奥秘。下面简单介绍它的构造,一般认为听觉系统分外耳、中耳及内耳3部分,外耳是能看见的部分,中耳内有一鼓膜及听骨,其后有一耳蜗(形

状像蜗牛壳),在耳蜗腔内沿着蜗线方向长着一片薄膜,把空腔分为两小室,此膜一部分是骨质,一部分为纤维组织构成,叫做基底膜,骨质形成一个框架,基底膜绷在上面,此膜各处宽度不同,故其固有频率不同,宽处低,窄处高,这就是引起各种频率的共振接受器,整个腔内充满淋巴液,鼓膜振动引起听骨运动,使液体产生振动,再传至基底膜,在基底膜不同的部位密布着约 25000 个听神经末梢,分别控制其固有频率相对应的听觉,把外界信号传给大脑,经过大脑综合分析,就能判别声音,上述听觉器官的描述,并没有完全搞清楚,这仅是一种“共振论”的见解,还有所谓“驻波理论”,“电话理论”和“水动力学理论”等等^[5],来描述听觉系统的行为过程,但不管什么理论,它都是建立在动力学基本理论上,即是一个振动系统,有自身的固有频率,它的功能也是高超的,例如它能接受的最强声是最弱的 10 万亿倍,形象一点说它一方面能经得起霹雳巨响,另一方面又能听见比蚊子叫还弱的声音,实验证明,只要声波能使鼓膜产生位移振幅为 10^{-6} cm 的振动,人的耳朵就能听见,还可以分辨不同频率大小可差 1000 倍的声音,而承受的声压仅为 10^{-11} Pa,能接受的声频在 20000 Hz 以下。

这样的器官还可以举出许多,如声带、鼻腔等,它们是共振器系统,后者可以调和或扩大喉部发出的声音。有些动物的听觉更为敏感,如狗可听音频为 38000 Hz 以下的声音,而蝙蝠可听音频为 38000 Hz 以上的声音。

2.3 微细结构的振动过程。生物体接收外界信号的组织是很多的,并且针对各种不同环境因素,有其相对应的组织司其职,这些组织可统称为感受器(或叫传感器)。它感受的频带是很宽的,由 $1-10^{14}$ Hz,具体见下表^[6]:

感受器类别	可接收频率	感受器类别	可接收频率
机械运动	$1 \sim 1.5 \times 10^9$ Hz	温度	$3 \times 10^{12} \sim 8 \times 10^{14}$ Hz
嗅觉	10^{12} Hz	光	$10^{14} \sim 10^{16}$ Hz

在表中有一区间 10^9-10^{12} Hz 是空白,或许可以假定,在这些频段,可能产生某些尚未知的生物组织在分子水平上的振动过程,例如接收电磁场或重力场的作用。

研究结果表明:所有活组织都具有感受外部环境所给予的信息,而振动信号是最广泛的一种,在电子显微镜下发现,器官的感受细胞,不管其表现出作用不同,但在结构上很相似,它们都是由可动茸毛——纤维状运动器官所组成,起着天线的的作用,其灵敏度也是惊人的,例如只要有一个光子的能量,就可激发视觉细胞;而对嗅觉细胞,只要有强烈气味的一个分子能量就

能激发^[5]。其中具有代表性的细胞团是称之为“帕其宁小体”的,它是一个敏感的神神经末梢,被复杂的有组织的层状囊壳所包围,它能接受外界刺激并迅速作出反映的小体,并具有约为 100 Hz 的固有频率,这与许多器官所固有的三磷酸腺苷(ATP)反应的频率 104 Hz 很接近。它是一种化学反应的贮能物质,因此这种小体可以接受外界信息并转换为生物活力信号,输入控制中心——人脑,并及时作出反映。生物系统的振动过程特点,除有机械振动外,往往伴随有化学反应的周期运动,这是一般工程中机械振动所没有的,但在非保守系统中,应有能量转换问题,可能因其量甚微,可忽略不计。

上述小体广泛存在于人类各种器官中,而在皮肤上就更多,因此皮肤有很丰富感觉作用,其感受器可分三类;即触觉,温度感觉及痛觉等。现在有人研究,皮肤感受器作为信息通道,用来补充视觉和听觉的传递,据说是很有前途,因为皮肤的感受面积大于视网膜的面积约 1000 倍,在人与操作系统中,当视觉及听觉不备用时,用皮肤感受器作为补充手段是很有效的,但需要解决两个问题:一是如何使外界信号为皮肤感受器所接受,即如何使声或电的振动信号转变为机械变形的信号,一是研究皮肤的哪些部位较为敏感。

综上所述,不管是生物群体,单个生物或个别器官及细胞等,都可以看作为一个动力系统,它们的运动过程都具有周期或其他振动特征,有些学者早已指出,这种系统的原动力,就是含有化学反应的自激振动。在生物系统中的振动过程包含两类:一类是运动学的有序振动,这是一般意义下的振动,另一类是形态变化的周期运动,基于此人们开始考虑,利用外界振动的作用,促进生物朝有益方向发展,控制有害的方面,后者是众所周知的,如振动,噪声使人有不舒服感,长久作用会使人产生“振动病”,另外次声有时可置人于死地,其作用机理是因共振而产生的,因为人体某些器官的固有频率是很低,如血液循环系统,如果次声频率接近它的频率而产生共振,会使心脏收缩振幅增加,导致动脉破裂,如果两者相位相反,可能使血液循环受阻,使心脏停止跳动,其危害甚为严重。因此控制振动减小噪声,早已引起人们的重视,取得了很大进展,在工程实践中解决了不少问题。与此相反,振动在生物系统中的利用问题,则研究较少,目前似乎还处于经验积累阶段,极需有关专业人员积极开展这方面的研究工作。

3. 振动的应用

振动对生物的器官起有利的的作用问题,早在 20 世纪初就被人们注意到,在我国的气功中,有一套全身抖动的功法,就是利用振动,促使身心健康,这是很早的事情了,但由于长期停滞在经验阶段,没有作出科学的论断,使其发展受到限制。现在由于科学技术的发展,特别是精密的仪器仪表及计算机广泛应用,毫无疑问,

将促使其发展,目前的进展大致如下:

3.1 振动治病的作用。经验表明,微弱的振动会改善生物组织的营养,加速伤口的愈合,正确给定某一频率的振动强度(如服药的剂量一样),不仅对生物器官无害,相反在生命活动过程中起积极作用,如痛感会降低,从而起到麻醉的作用。用振动刺激已经麻木的身体部分,能使其恢复活动力,并改善器官的血液循环,使用振动按摩器,可加速恢复肌肉的疲劳,因此在体育界广泛应用。有的国家已经建造专门的振动平台,人们只要站在上面数分钟,就会减少疲劳,血压亦会趋于正常。许多研究还表明,振动疗法对许多疾病,如脊椎神经根炎,气喘,心血管病,眼疾以及失眠等都有效,并将成为人们保健手段之一。可以预计,在不久的将来,设计防振系统时,将考虑一定量的振动会刺激人们的劳动活力,变振害为有利的因素,也可以使乘坐各种运输工具的旅客感到舒适。应指出的是,振动疗法至今尚未有坚实的理论基础,振动如何与生物器官作用的机理,尚未搞清,极需深入的研究。

3.2 振动的作用可使某些生物遗传机理改变,如染色体集中百分比增加。振动作用与生物结构的构造相联系,使相应的器官产生共振,有选择性地对生长激素,细胞纤维生殖的作用施加影响,或抑制病态的生长。有趣的研究结果表明,在预先用振动加工过的种子,发芽率有所提高,或提前发芽。

3.3 借助生物感受器的作用原理开发精密传感器。上面已经谈到一些生物器官中的感受器具有许多突出的优点,概括起来大致有灵敏度高,分辨率高,结构微小精巧,可靠性高,抗干扰性好及测量范围大等等。目前声电转换器的种类繁多,但性能方面与生物界中各种听觉器官相比,就显得大为逊色。随着近代新颖的压电材料研制成功,此类传感器也可以做得很好。据报道,一种用来控制粮食仓库害虫的传感器,在2—3公斤粮食范围内,只要有一只害虫在爬动,就能被发觉,有的在听觉范围内可由次声到超声都能听见。

某些动物的听觉非常发达,如有些鲨鱼能听到2公里以外的一条蠕动着的声音,有的听觉感受器相当于人的视觉或超过,能区别出各种各样的物体,如果能搞清楚其作用机理,可应用于工程上的传感器,通信机,测定器及图形识别装置等诸方面。

皮肤具有灵敏的触觉功能,因此有人曾为耳聋者设计了一种利用皮肤来感受声音的装置,其原理是通过一个不大的电振荡器,将接收到的声音变为振荡运动,耳聋者用手指按在这种振荡器上,就能辨别各种振动所代表的声音,但由于人的皮肤仅对375 Hz左右的频率最为敏感,所以和耳朵相比,用手指来“听”声音

要迟钝一些。

3.4 生物节律的应用。生物节律又称生物钟,这是普遍存在于生物体中的一种现象,其具体表现形式是多样的。至今对生物钟的解释有两种理论;一种认为节律是物种的遗传特征,是所谓内成的,这些节律可用外部的刺激来调整。另一种认为这些节律是由外部各种宇宙环境因素所决定,即所谓外成的。但不管何种理论,现在大家公认的是各种生物的习性和功能都受节律支配,有些节律以24小时为周期,同太阳日吻合,有些则同月亮循环一致,或同大气潮及海洋潮汐有某种联系,或以年及几年甚至更长为周期。

影响生物节律的环境因素甚多,但主要的有光线,温度和电磁场等。如增加养鸡场的光照时间,可使鸡产蛋增加。对牛羊减少黑夜时间,可延长其发情期,增加交配次数,繁殖次数亦增加,以达到增产的目的。

人类器官亦具有循环节律,而它对外界刺激的反应,取决于器官在何种节律循环的相位,因此医师们发现,对病人用同样的药物,仅因用药时间不同,得出效果亦不一样,如患心脏病的人,对药物熟地黄的敏感性,上午四时要大于平时的40倍。动物实验表明,如对老鼠注射剧毒药品(马钱子碱),在24小时内的某一时刻注射,死亡率仅为6%。用杀虫剂消灭苍蝇蟑螂之类的昆虫,也有类似的结果,只有在下午用药时,死亡率较高。癌细胞增生也是有节律性,在某一时刻,癌细胞更容易受X光的破坏,如果人的昼夜节律性受到破坏,也会引起不良后果,严重的会引起某些疾病。显然,运用这些生物节律的知识,对于治疗疾病以及控制,消灭虫害等方面,可以节省不少人力,物力。总之存在于生物界的这种特性,到现在为止研究不够充分,很多现象也得不到科学的解释,可以设想,一旦我们掌握了它的规律,将会给人类带来巨大的利益。

综上所述,可以看出,振动这种自然界存在的现象,经过深入地研究后,完全可以用来为人类造福的。

参 考 文 献

- [1] Фролов, К. В. Вибрационная биомеханика, М. Наука (1989).
- [2] 尼科里斯, G. 普利高津, I., 探索复杂性,四川教育出版社(1986).
- [3] 欧阳怡,振动应用纵横谈,百科知识,7(1989).
- [4] 伏尔更斯坦, М.В. 现代物理学与生物学概论,龚少明译,1984年.
- [5] Диментберг, Ф. М. Фролов, К. В., Вибрация в технике и человек, Москва, Знание (1987).
- [6] Сельков, Е. Е., Колебания в биохимических системах, кн. Колебательные процессы в биологических и химических системах, Москва (1967).