

振动在运动训练中的应用

金季春[†]

(北京体育大学 北京 100084)

摘要 体育动作是人体与周围环境之间相互作用的结果,人体组织和结构,各种器材和装备都有自身的固有频率和在力作用下产生振动的频率.运动员可以在一定范围内通过改变肌肉紧张度使人体的晃动质量变为硬质量,从而调节动作频率,以适应器械(如跳水跳板、单、双杠等)的振动频率,取得共振的效果.为此,需要测定人体和器械(包括运动鞋等)的固有频率,并通过运动员技术使二者共振.文章介绍了振动在体育训练中的运用,由于人体对振动刺激的反映规律尚不清楚,振动的运用还需要进一步探索和研究.

关键词 振动,晃动质量,共振,肌肉紧张和刚度

Application of vibration in sports training

JIN Ji-Chun[†]

(Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract Sport events and fitness activity are the result of interaction between human action and the environment or sports equipment. The various tissues and structures in humans as well as different equipment and apparatus have natural and imposed frequencies under the effect of external forces. Athletes can change a wobbling mass to a stiffness mass by increasing their muscular stress and then modifying their movement frequency to adapt to the equipment's vibration frequency, and so achieve resonance effects. Thus it is necessary to measure the natural frequency of the human body and sports apparatus, as well as to obtain resonance between them through an athlete's skill. We describe the application of vibration in sports training. Since the mechanism of the body's reaction to vibration is not yet fully understood, the role of vibration in sports training needs to be studied in greater depth.

Keywords vibration, wobbling mass, resonance, muscle stress and stiffness

很长时间以来,人们已经认识到机械振动对人体健康是有影响的.例如,早在17世纪时,马车夫由于马车的振动而引起的背痛就受到了重视.在现代,由于劳动工具(像电锯、钻孔机等)和交通工具(如汽车、拖拉机、摩托车等)等振动对于手、脚或整个身体的刺激可以严重地损害健康.所以,在劳动生物力学和劳动保护中,为了消除这些有害的振动,人们甚至精心制订了严格的操作规程.在建筑和材料科学中,也十分重视机械振动在结构中引起的内力和变形,重视它对厂房、材料、结构的寿命、安全和使用的影 响.但是,主要也是关注消除振动的有害影响.

相反,在体育运动中虽然也会发生显著的振动载荷,如在帆船、冲浪、高山滑雪、山地自行车和骑马

等运动中,同样也必须考虑振动的潜在危险.但是,令人奇怪的是,在运动中考虑的主要都是利用振动的有利影响,例如,在跳板跳水中,运动员的动作频率要和跳板振动的固有频率“共振”,在起跳时获得跳板的最大助推力,使跳起高度最大,以便有充分的腾空时间去完成高难动作.跳水运动员把这种技术叫“合板”.奥运会新兴项目——蹦床更是要与弹簧床的振动打交道.现在,体育科研人员开始关注机械振动对平衡控制和力量训练的重要性.已经对涉及振动刺激在力量训练中的作用进行了许多研究.在

2008-05-06 收到

[†] Email jinjichun4190@163.com

上世纪 80 年代以前,科研人员主要是解决运动鞋的减振(缓冲)问题,而在 80 年代后,则要解决如何把这些吸收来的能量及时地返回给运动员,提供助力,使运动员能跑得快一点,跳得远一点。同理,科研人员在网球拍、乒乓球拍、撑杆跳高的撑竿弹性等方面也做了许多工作。本世纪初出现了一门新兴学科——体育工程学,这是一门研究体育器材(单杠、双杠、标枪、船、雪橇和各种球等),装备(运动鞋、帽、服装、手套及头盔等各种保护装置),仪器(测力台、肌电图、身高计、摄像机等),设施(计时记分仪、各种裁判设施)以及训练和健身器械(各种专门化的力量训练仪、柔韧训练仪等)的性能如何适应人体运动,改善运动成绩(表现),增强正面训练效果,减少损伤等负面效果的交叉学科。振动规律和作用是其重要的内容。

要掌握振动在运动和训练中的应用,首先要了解或测量运动器材、装备、设施及训练器械的材料和结构的振动特征,如结构的自振频率、振幅和振型等(这方面可借用工程中的一些技术和数据),同时又要确定人体的结构(如骨、肌肉、内脏器官等)和动作的振动特征(如人体组织的自振频率、跑、跳、投等动作的频率、振幅、类型等),这方面的工作主要是由运动生物力学家在做。例如,目前已经了解人体一些组织的共振频率,见表 1。这些人体组织的共振区域是长期遭受振动引起严重后果(例如头晕、运动病、下背痛、视觉衰退、脑血管疾病、血液动力学改变和成骨细胞中 mRNA 表达的变化等)的原因,也是采取预防手段的着眼点。

表 1 人体不同部分的共振频率

部位(组织)	频率/Hz	部分(组织)	频率/Hz
眼睛	20	脊柱	8
心、肺、内脏器官	8	肌肉	7—15
头和脑	18	整个身体	5

在运动生物力学中,把冲击或碰撞看作是“短暂的振动,它的性质通常是完全随机(无规则)的”^[1]。关于动作的振动特征,目前有一个思路是测定完成动作的时间,例如通过摄像或测时鞋、测力台等来测定跑步时的触地时间,然后,按 $f = \frac{1}{t}$ 来计算动作频率。在测定和掌握了环境(各种器械)和人体两个方面的振动特征后,就可以通过振动的合成和分解的方法来确定各种器械的振动对人体的作用并加以应用了。最简单的振动合成是方向相同的振动的合成。根据振动叠加原理,可利用振动图线合成的方法求出合振动的位移。频率相同的简谐振动相加,

所得的合振动仍是简谐振动,它的频率与分振动的频率完全相同。频率不同的简谐振动的合成不是简谐振动,而是周期性振动。在科研上使用频谱仪对复杂振动进行分析,它可以告诉我们任何一个复杂的振动是由哪些简谐振动所合成的。

在运动和训练中应用振动主要是让器材振动的固有频率与人体动作频率形成共振,例如跳板跳水和蹦床等。当运动员把跳水跳板的支点调节到一定位置后,跳板振动的固有频率和振型等特征参数就固定了(蹦床的频率和振型也是固定的)。跳板在运动员往复动作的作用下将发生受迫振动,运动员通过调整自身动作的频率,使其接近跳板(或蹦床等)固有振频,就能取得共振效果。因此,“合板”技术的主体是运动员。在人体运动中,把骨称为硬质量(rigid masses),把肌肉和内脏器官等软组织称为晃动质量(wobbling masses)。由 Yue 和 Mester^[2]在 Liu 和 Nigg^[3]的基础上改良的弹簧-阻尼-质量模型(图 1)证实了:运动员在做往复动作时,晃动质量的相位落后于硬质量的相位。因此,运动员动作频率取决于硬质量与晃动质量的比例。当肌肉高度紧张时,肌肉的刚度(stiffness)变大,肌肉将由晃动质量变为硬质量,使动作的频率发生改变。因此,运动员通过肌肉紧张,改变身体的晃动质量(wobbling masses)所占比例,可以在一定范围内调节身体动作的频率,以适应跳板(或蹦床等)的固有振频,实现共振效果。但是如果跳板(或蹦床等)的固有振频超出运动员能够调整的范围,则难以实现共振。

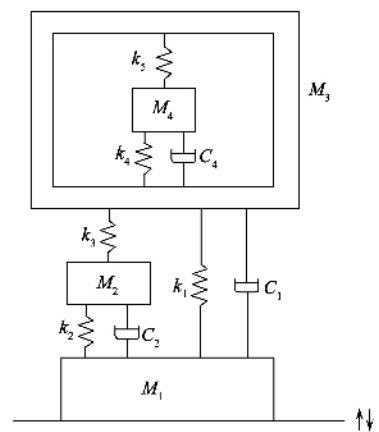


图 1 一个模拟整个身体振动的弹簧-阻尼-质量模型,其中 M_1 , M_3 是硬质量, M_2 , M_4 是晃动质量, K_1 至 K_5 是弹簧常数, C_1 , C_2 , C_4 是阻尼系数。模型所用的值如下: $M_1 = 6.15\text{kg}$, $M_2 = 6\text{kg}$, $M_3 = 50.34\text{kg}$, $M_4 = 12.58\text{kg}$, $K_1 = K_2 = 6\text{kN/m}$, $K_3 = K_4 = 10\text{kN/m}$, $K_5 = 18\text{kN/m}$, $C_1 = 300\text{kg/s}$, $C_2 = 650\text{kg/s}$, $C_3 = 1900\text{kg/s}$

目前在运动鞋设计中,企图利用鞋垫在缓冲时吸收的能量,多数的研究是把重点放在材料和结构上,而忽略了对人体动作频率的研究,结果是不理想的。材料和结构的固有振频必须调节到人体动作频率的可调范围内,人体肌肉才能作适当微调,让动作频率与鞋垫的材料、结构的固有频率产生共振,达到目的。

利用振动训练运动员的平衡控制能力以及增强肌肉的力量和柔韧水平,这在前苏联和东欧国家中研究和应用比较多,他们采用重复的、小幅度的离心振动载荷来提高运动员的力量和柔韧,因为这能使运动单位较好地同步化(运动单位是运动生理学中的一个常用的术语:一个运动神经元及其轴突(神经纤维)的分支连同它所支配的全部肌纤维(从几根肌纤维到一百多根肌纤维不等)组成一个运动单位,一块肌肉中包含有大量运动单位,各运动单位的同步化表明肌肉发出的力大)。

在上世纪 60 年代的中期,实验显示了所谓的“强直振动反射”(tonic vibration reflex, TVR),即当受到刺激的肌腱通过同时放松其对抗肌,在肌肉中增加收缩强度^[4]。TVR 同样主要是通过激活肌梭中的 Ia 纤维来诱导的(纤维直径为 9—21 μm、神经冲动传导速度在 76—100m/s 以上的纤维称为 Ia 纤维)。Ia 纤维对振动的高灵敏度启示这个系统可以看作是在振动作用下的拉长反射活动。还有结果显示,皮肤感受器和 II 型传入纤维(纤维直径为 6—12 μm、)同样对 TVR 有贡献^[5,6]。在关于各种振动器材的研究中,肌电图(EMG)结果显示了一种肌肉对振动输入的紧张和放松的同步行为。通过振动加速度,增加了对所训练肌肉的强直性激活(tonic activa-

tion),使身体更多的阻尼系统超载,因而进一步增加肌肉张力。这是当前振动力量训练的一个基本理论。另一个基本理论是离心刺激,由于肌肉离心作用张力要大于等长作用和向心作用的张力。因此,离心刺激可增大对受训肌肉的刺激强度,提高训练效果。

在运动训练实践中,一些商业振动训练仪可在 25—50Hz 的频率之间调节,振幅可在 1—4mm 之间调节。但是,教练员反映,有些运动员的训练效果较好,与对照组相比,同样训练负荷在相同训练期间可提高力量训练效果达 40%—50%。但是,也有反映振动训练没有什么效果,有些运动员甚至反对使用振动训练仪。这种反映告诉我们,关于人体对振动刺激的反映规律尚未搞得十分清楚,对不同运动员应使用哪种振动频率、振幅和振型尚未彻底掌握。因此,这方面的研究还有待进一步深入地进行。在实践中也不应盲目使用,应在体育科研人员指导下有计划地进行。

参考文献

- [1] Cale S. Vibration and Linear Acceleration. In: The Body at Work (Ed. Singleton W). Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 201—233
- [2] Yue Z, Kleinoeder H, Mester J. European Journal of Sport Science, 2001(1): 1
- [3] Liu W, Nigg B M. Journal of Biomechanics, 2000, 33: 219
- [4] Hagbarth K E, Eklund G. Motor effects of vibratory muscle stimuli in man. In: Proceedings of the First Nobel Symposium. 1966
- [5] Romaguere P, Vedel J P, Pagni S. Journal of Physiology, 1991, 444: 645
- [6] Park H S, Martin B J. Scandinavian Journal of Work Environment and Health, 1993, 19: 35

· 封面故事 ·

北京奥运场馆——“鸟巢”和“水立方”

2008 北京奥运的脚步离我们越来越近了,奥运场馆的建设也陆续竣工投入使用。封面上图为国家体育场,又被称为“鸟巢”,是 2008 年北京奥运的主体场馆,工程总占地面积 21 公顷,建筑面积 258000 平方米,场内观众坐席约为 91000 个,将举行奥运会、残奥会开闭幕式、田径比赛及足球比赛决赛。其设计方案,是经全球设计招标大赛产生。这个设计方案主体由一系列辐射式钢架围绕碗状坐席区旋转而成,结构科学简洁,设计新颖独特,为国际上极富特色的巨型建筑。封面下图为国家游泳中心,又被称为“水立方”(Water Cube),位于北京奥林匹克公园内,规划建设用地 62950 平方米,总建筑面积 65000—80000 平方米,是 2008 年奥运会的主游泳馆,也是 2008 年北京奥运会标志性建筑物之一。它的设计方案,是经全球设计竞赛产生的“水的立方”方案。其与国家体育场分列于北京城市中轴线北端的两侧,共同形成相对完整的北京历史文化名城形象。水立方是世界上最大的膜结构工程,其首次采用的 ETFE(聚氟乙烯)膜材料,可以最恰当地表现“水立方”,其外形看上去就像一个蓝色的水盒子,墙面就像一团无规则的泡泡。而这些泡泡正是泡沫物理学这门古老学科的成功应用,详细内容请见本期第 473 页文章。