·综述·

全身振动训练对心肺功能影响的研究进展

王 朴[1] 雒晓甜[1] 张 驰[1] 刘 遄[1] 阳筱甜[1] 何成奇[1,2]

心肺疾病具有发生率高、致残率高、死亡率高的特点,严重威胁人类的生命健康,影响人们的生存质量,给社会和家庭带来沉重的经济及社会负担。查阅近年来的文献发现,一定振动参数的全身振动会引起相应器官功能和形态变化,最终影响组织中物质分子结构、生物氧化及能量代谢过程[1]。合理利用全身振动训练会对机体带来有益的生物学效应,而不适宜的机械振动可能会造成器官及组织的损伤或功能性损害。此全身振动训练作为干预方法,在运动员体能训练、多发性硬化症、帕金森氏综合征的治疗、加速骨折愈合、预防骨质疏松等诸多疾病中都得到广泛应用,但对心肺疾病的治疗研究较少,对这一方面的研究仅为星星点点的应用,没有全面而系统的论述。因此,开展全身振动训练的心肺生物学效应研究对预防振动病和有效提升振动训练和康复治疗效果具有重要意义。

本文以Whole body vibration、Vibration Training、Vibratory stimulation、Cardiac、Respiratory、Lung、全身振动、振动训练、振动刺激、心脏、呼吸、肺为关键词进行相应组合后,检索Medline、Embase、CBM、CNKI数据库、万方数据库、维普数据库,去除重复文献,阅读选入文献摘要,排除明显不相关文献,检索所得近年来全身振动训练影响心肺功能的相关基础及临床研究全文并分类,最后进行综述。

1 全身振动治疗的全身生物学机制研究

全身振动训练(whole-body vibration training, WBVT)是指在振动平台上执行练习的术语。WBVT是放置于地面上的专门振动台(可供双脚或单脚站立、双手支撑或坐姿)产生振动,使其释放的冲击性振动刺激通过肢体传递到肌群上,进而增加主动肌的激活程度并提高高阈值运动单位的生物学活性,引起参与运动单位肌群以高频率放电,而达到神经肌肉系统兴奋性提高的训练效果[2]。全身振动疗法的作用机制分为直接生物学效应与间接生物学效应两类[3]。直接作用为机械振动波直接传递到机体器官、组织及细胞等结构而产生。间接作用为机械振动波刺激后引起的神经、体液的反射、调节而产生。其直接作用主要生理效应有:增强肌肉力量、刺激呼吸功能、改善通气血流比、促进痰液排出、增强胃肠蠕动、调节血液黏度、促进静脉血回流、加快淋巴液回流、增加排尿量、增强韧带载荷、皮肤组织弹性等等,但其最为主要的生物学作用是生物动力学效应,与振动频率和振幅有关,即募集更多的肌肉运动单元参与肢体活动、强化肌肉协调性,增加肌肉的爆发力;间接生物学效应主要生理效应有:通过神经反射使呼吸加深,同时引起血液成分变动,反射性排尿量增加;并且刺激皮肤感受器后,反射性地使局部皮肤温度升高[4—5]。

2 全身振动训练对循环系统的影响

2.1 对循环系统血流量的影响

循环系统的血流量主要受机体的神经、体液调节,同时各部位的肌肉收缩对于该器官的血流量的影响也起到了重要的作用,而血流量的增加有助于改善人体的血液循环功能。心脏推动血液流动,向器官、组织提供充足的血流量,以供应氧和各种营养物质,并带走代谢的终产物(如二氧化碳、尿素和尿酸等),使细胞维持正常的代谢和功能;同时体内各种内分泌的激素和一些其他体液因素,也要通过血液循环将它们运送到靶细胞,实现机体的体液调节,维持机体内环境的相对恒定。目前相关文献表明,全身振动训练后机体外周循环血流量增加近14%,参数为5—7min/45Hz的振动可使小腿血流量增加近46%[6]。而频率为30Hz和50Hz的振动训练也可明显提高前臂血流量,其效果至少可持续9min[7],说明不同振动频率的训练均可作为提高血流量的方式。分析其可能存在的原因有:①全身振动训练可提高血液中血管内皮生长因子及内皮素含量,加快血管生成[8],这将加快心肌毛细血管生长,对改善心脏微循环和外周末梢循环具有重要生理意义。②外周血管阻力是影响器官血流量的重要因素,决定总外周阻力大小的主要因素是微小动脉,而全身振动训练能有效提高小动脉扩张能力[9],特别是微小动脉的扩张,这也是人体预防在剧烈振动、竞赛和重体力劳动过程中血压增长过高的重要因素。③Rittwege等研究发现,低频振动可增强肌力,振动刺激时,机体皮肤血流速度加快,可导致皮肤温度升高,下肢的血液循环加快,平均动脉血流速度从6.5m/s增加到13.0m/s,并且振动刺激在兴奋肌梭的同时也使肌梭兴

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.01.028

1 四川大学华西医院康复医学中心,康复医学四川省重点实验室,四川成都,610041; 2 通讯作者
作者简介:王朴,男,助理研究员;收稿日期:2014-10-19

奋性阈值降低，从而提高了肌肉柔韧性和协调性[10]，而高频全身振动对血流速度和肌力都产生负面生物学效应。根据Stewart的研究认为，置于足底的振动训练台增强了静脉异位引流以及外周血流量和淋巴回流[11]。同时由于振动刺激的持续效应，直至振动刺激过后6min内，机体组织中本体感受器仍处于相对兴奋状态[12]，那么释放的神经冲动会引起肌肉轻微、持续的交替收缩运动，皮肤的血流量仍然处于持续增加状态，皮肤温度仍较高，皮肤血流速度加快，有利于氧的携带，细胞膜对有害物质的透通性增强，促进组织物质间的交换，加快机体新陈代谢速率，有利于机体疲劳的快速恢复。通过分析近年来关于全身振动疗法对循环系统血流量的影响，发现全身振动治疗对于改善人体血液重分配，强化人体的血液循环系统的功能，尤其是对于一些由于血液循环不良引起的心血管疾病如血管硬化、萎缩、梗死等老年性疾病可能有一定的治疗作用，提示我们全身振动治疗不仅仅可以改善和强化人体的血液循环系统功能，而且对于血液循环系统功能减退而引起的疾病有医疗保健作用，提醒我们全身振动训练在老年性心脏疾病治疗的研究中应得到重视和研究。同时也有学者发现不同振动频率对血流速度的影响差异较大，一般情况下高频与低频的界定界限为50Hz[13]，频率为50Hz以下的振动，大部分能量以振动波的形式通过组织传播，而频率为60Hz以上的振动，人体则可能会出现神经失调，内分泌紊乱等症状。由此可见，只有适宜频率的振动训练才能加快静脉血液回流，引起周围血管扩张，减小大循环阻力，降低心脏负担，进一步使血压降低，同时改善血液循环功能。所以在设置振动训练方案时需要充分考虑到影响振动训练效果的限制性因素。同时以上的各项研究大多都是针对全身振动训练对影响血流量的某一个研究因素进行探索的，而这些研究因素之间是否有相互协同作用，或者说是以某一个研究因素为重点，而其他的因素在整体影响血流量的变化过程中作用不大，这些问题的研究还需要进一步的探究，并且将影响血流量变化的各个因素综合考虑，也许才是判断全身振动治疗对于血流量影响的准确把握。

2.2 对循环系统心率、血压及心电图的影响

循环系统内血液充盈、心脏射血、外周阻力、心率及主动脉与大动脉的弹性储器作用都与循环系统的血压变化有密切关系。以往的研究结果显示，人和动物短时间接触1.3g以下低频全身振动，会出现心率加快和血压升高，较大振动强度即3g时就会引起严重的血流动力学改变和心肌结构损害，受试者接受1年的全身振动训练，心率会显著增加，同时最大摄氧量和肌肉力量也显著提高[14]。而Button等[15]研究人员则发现，参数为30min/60Hz的全身振动训练，收缩压及心率变化较微弱，而舒张压显著增高。心电图反映的是整个心脏兴奋的产生、传导和兴奋恢复过程中的生物电变化，而与心脏的机械活动则无直接关系。较多研究也发现，全身振动参数对心电信号影响较小，心脏有较强抗干扰能力，不论接受哪种外界振动参数振动，短时间内心脏的节律不受影响。但也有学者发现，15min/5—30Hz频率的垂直振动后，人体心电图中可出现ST段升高或降低[16]。通过相关文献分析，全身振动训练导致的心率、血压及心电图的改变可能与血液流动的动力性变化有关，也有可能与其通过神经反射引起血液成分的变动有关，但是目前的研究结果并未显示全身振动治疗对于血压和心电图的变化具有统一的影响结果，更加确切的影响还有待进一步分析和研究，以便能为今后有效预防全身振动治疗给患者带来的循环系统不良反应提供参考依据。

2.3 对循环系统心肌细胞、心脏自主神经、血管活性物质的影响

心脏主要由心肌细胞组成，每个心肌细胞之间靠一种叫闰盘的相互连接，齐心协力地一起收缩和舒张，从而构成心脏的跳动。正常心、血管系统的功能活动在神经、体液因素的调节下，保持相对稳定，动脉血压的剧烈变化会显著影响各组织、器官的正常活动。心脏受交感神经和副交感神经的双重支配。交感神经兴奋通过其末梢释放去甲肾上腺素与相应的受体结合，调节心脏、内脏、骨骼肌的活动。迷走神经兴奋通过其末梢释放的Ach与相应的受体结合，对心脏、内脏等具有重要调节作用。研究发现，低频全身振动训练能使心肌耗氧量增加，较大振动强度可导致心肌结构损伤，高振幅振动可引起乳头肌收缩和左心室收缩抑制[17]。而当左心室心肌收缩力降低时，低幅振动又可引起人类心脏左心室内压和每搏功下降[18]。同样也有类似的研究发现，正弦式纵向振动可使心肌收缩抑制[17]。相关实验还表明，置于舒张期的振动可缩短心脏收缩期长度，频率为50Hz振动可使收缩期平均缩短27ms(占收缩期长度的20%—30%)。另一项研究则发现，离体心肌标本张力下降期时接受外界振动刺激，可使其舒张期加速[19]，这种因振动而导致的舒张期加速可能是由心肌细胞本身特征决定的，振动使肌动蛋白丝的横桥连接长度紊乱以致数量下降。Vorobeva等[20]报道，不同振动参数可引起线粒体供能系统发生显著变化，当振动频率和持续时间达到一定数值时，能源供应系统将会出现功能障碍，这也为全身振动训练会使心肌耗氧量增加提供了依据。实验发现，短时间振动训练会对心脏自主神经调节产生严重影响，并且接触振动会使总心率变异性下降[21]。振动所致外周血管的损伤(包括血管收缩、痉挛及管腔变细、小血栓形成等)和神经损伤包括神经传导功能和体感诱发电位的异常等均可导致交感神经功能亢进、血管内皮细胞活性物质的改变[22]，但确切机制迄今尚未阐明。近年来的相关文献提示，全身振动训练疗法对于心脏可能存在抑制心肌收缩，增加心肌耗氧量，增加能源供应的障碍，而这些心脏功能的改变，考虑其主

要与全身振动训练引起自主神经系统的变化关系最为密切,其使交感神经紧张性增高,导致了心肌耗氧量增加,微循环血管发生痉挛,进一步导致血管壁肥厚和纤维化改变,外周阻力增加,引起对心肌细胞及血管活性物质的变化,但是一些学者发现全身振动训练导致的心脏功能的改变大多在临床正常范围内,提示它多属功能性;如若接受振动刺激的时间继续延长,外周循环障碍继续加重,这种变化有可能超出生理范围,因此在利用全身振动治疗患者时,应该给予患者接受振动刺激的适宜时间参数,同时关注患者的心脏功能变化,以免引起不良事件发生,但是这些结果中有一些影响因素的探究是基于动物实验的研究,这些研究结果是否与全身振动训练引起人体的心脏功能变化一致,还有待进一步进行探索。

3 全身振动治疗对呼吸系统功能的影响

全身振动训练对呼吸系统的影响,大多集中在减轻肺部疾病的临床症状,而对其改善肺部疾病的病理生理机制研究较少。Pleguezuelos等发现,全身振动疗法可以提高慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease,COPD)患者的肺容量[23],增加呼吸肌肌力,改善患者的生存质量[24]。Furness等[25]也发现,全身振动治疗相比传统的物理康复训练,并没有加重COPD患者的临床症状,反而提高了患者从椅子坐位到站起、转身及步态等日常生活活动能力,而全身振动治疗相比有氧训练,在提高患者的疼痛方面,并没有明显差异,但可以提高患者的6min步行能力及氧饱和度,并且使血氧不足的发生情况平均下降4%[26—27];同时类似的研究也发现,全身振动治疗可以提高COPD患者3m站起走计时测试(13%)和5椅转移测试(18%)能力[28];6周的持续全身振动治疗可以明显提高此类患者的60s内的站立时间及楼梯爬行能力[29—31],患者的步行速度会有14%—30%的提高[26,29,32]。同时全身振动疗法还可以促进COPD的气体交换并改善肺循环[33],并且有效缓解COPD患者的呼吸困难[34]。全身振动训练能有效改善慢性阻塞性肺疾病患者的临床症状,考虑主要与其增强呼吸肌的肌肉收缩力有关,而肌肉力量的增加,进一步刺激了呼吸功能,改善了通气血流比,从而改善呼吸功能。Leduc等[35]通过试验证实,振动治疗可刺激吸气肌,并且通过呼吸肌表面肌电图仪记录到肋间外肌活动增强,却记录不到肋间内肌的活动,包括这些肌肉因被动充气而延长的时间,说明呼气肌对振动的敏感性不如吸气肌,这种不敏感可能与肌梭向心传入受到肋间外肌的反射性抑制有关。但是也有学者发现,全身振动治疗对于亚健康及老年COPD患者,可能导致其心率增加[4,36];由于运动过程中Ⅱ型肌纤维的活动占优势,使患者对于无氧环境更易产生疲劳[27]。通过综述全身振动疗法对呼吸系统疾病的国内外研究进展发现,振动可以促进某些肺部疾病,如老慢支、慢阻肺患者运动功能的提高,值得临床推广及应用,但是应同时注意其可能会加快患者心率,并且让患者对于无氧环境更易疲劳。

4 小结

一般认为,频率为50Hz以下的低频振动,对骨关节系统、前庭器官及神经肌肉系统的影响较大;频率为30—250Hz的振动易引起血管痉挛,并伴有神经、肌肉系统的障碍;频率为250Hz以上的高频振动对血管的痉挛作用减弱,而对神经、肌肉系统的影响增强;但高于频率为1000Hz以上的振动,则难以被人体主观感受到[37]。

通过综述全身振动疗法对心肺功能影响的最新国内外研究,发现全身振动疗法在呼吸系统疾病治疗研究中取得了一些成果,而其在循环系统疾病的临床运用上研究甚少,较多的研究集中在全身振动训练对循环系统可能造成的不良反应研究上,但是其对于一些由于血液循环不良引起的心血管疾病如血管硬化、萎缩、梗死等老年性疾病可能有一定的治疗作用。通过研究近年来的基础、临床研究,发现以下可能值得注意的问题:①循环系统疾病包括冠心病、心肌梗死、高血压、支气管哮喘、肺心病等,其病理变化截然不同,目前尚缺少对各种疾病有针对性的临床疗效研究和不良反应探究;同时目前全身振动训练对呼吸系统的研究多集中在改善肺部疾病患者的临床症状,缺乏相应的生理机制研究。②全身振动训练的频率与引起振动不良反应的频率有明显重叠,医学界应积极探索对人体产生不良生理学效应的振动参数和对人体健康有益的参数。③探索针对不同疾病、不同部位肌群进行特定训练的适宜频率、振幅、加速度和接振方式,对开发适用于临床医学、康复医学、运动医学和体育训练学领域的新器材以及新的治疗手段和方法具有重要意义。因目前全身振动训练对心肺疾病的研究较少,故本综述缺乏更有针对性的分析结论。

参考文献

[1] 王颖. 机械振动疗法及其在康复治疗中的应用[J]. 中国康复医学杂志,2004,19(8):73—76.

[2] 宋佩成,李玉章. 振动训练法研究进展[J]. 体育科研,2010,31(2):78—82.

[3] 王颖.机械振动疗法作用机理研究[J].中华物理医学与康复杂志,2002,24(8):59—60.

[4] 彭春政,危小焰,张晓韵.振动力量训练的机制和作用效果的研究进展[J].上海体育学院学报,2002,19(3):45—48.

[5] 张园园,潘化平,许光旭,等.不同振动条件下的正常人体下肢肌肉表面肌电分析[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(12):1093—1096+1145.

[6] Button C, Anderson N, Bradford C, et al. The effect of multidirectional mechanical vibration on peripheral circulation of humans[J]. Clinical Physiology and Functional Imaging, 2007, 27(4):211—216.

[7] 欧阳秀雄，湛超军.振动训练同振幅不同频率与振动时间对血流量变化的研究[J].北京体育大学学报，2005，31 (7)：929—931.

[8] Suhr F, Brixius K, de Marees M, et al. Effects of short-term vibration and hypoxia during high-intensity cycling exercise on circulating levels of angiogenic regulators in humans[J]. Journal of Applied Physiology，2007, 103(2): 474—483.

[9] Rosenberger A, Liphardt AM, Bargmann A, et al. EMG and heart rate responses decline within 5 days of daily whole-body vibration training with squatting[J]. Plos One, 2014, 9(6):e99060.

[10] Kerschan-Schindl K, Grampp S, Henk C, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume[J]. Clinical Physiology, 2001, 21(3):377—382.

[11] Stewart JM, Karman C, Montgomery LD, et al. Plantar vibration improves leg fluid flow in perimenopausal women [J]. American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 2005, 288(3):623—629

[12] 彭春政，危小焰，周瑞霞.论机械性振动刺激对提高肌肉力量增长的机制和效应[J].上海体育学院学报，2002，26(2)：25—29.

[13] 许光旭，顾绍钦，孟殿怀，等.生物谐振规律对步行效率影响的前驱研究[J].中国康复医学杂志,2008，23(12):1092—1094.

[14] Bogaerts AC, Delecluse C, Claessens AL, et al. Effects of whole body vibration training on cardiorespiratory fitness and muscle strength in older individuals (a 1-year randomised controlled trial)[J]. Age and Ageing, 2009,38 (4): 448—454.

[15] Button C, Anderson N, Bradford C, et al. The effect of multidirectional mechanical vibration on peripheral circulation of humans[J].Clinical Physiology and Functional Imaging, 2007, 27(4):211—216.

[16] Sanudo B, Cesar-Castillo M, Tejero S, et al. Cardiac autonomic response during recovery from a maximal exercise using whole body vibration[J]. Complementary Therapies in Medicine 2013, 21(4):294—299.

[17] Vukas M, Sivertsson R, Ljung B. Inhibitory effects of vibrations on contractility of isolated rabbit papillary muscle [J]. Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation，1978, 38(5):415—419.

[18] Apor P, Tihanyi J, Borka P. Improving of muscle mass and force in rehabilitation of heart-lung patients. Aerobic interval training, resistance-exercises, excentric exercises, vibration[J]. Orvosi Hetilap, 2005, 146(38):1971—1975.

[19] Janssen PM, Honda H, Koiwa Y, et al.The effect of diastolic vibration on the relaxation of rat papillary muscle[J]. Cardiovascular Research,1996, 32(2):344—350.

[20] Vorob'eva VV, Shabanov PD. The functional activity of energy producing system of rabbit myocardium after general vibration exposure[J]. Rossiiskaia Akademiia Nauk, 2009, 95 (1):19—27.

[21] Spaul WA, Spear RC, Greenleaf JE. Thermoregulatory responses to heat and vibration in men[J]. Aviat Space Environ Med, 1986, 57(11):1082—1087.

[22] 林立，张春之，张强，等.局部振动对家兔血清肿瘤坏死因子浓度的影响[J].中华劳动卫生职业病杂志，2004, 22 (2): 66—67.

[23] Pleguezuelos E, Perez ME, Guirao L, et al. Effects of whole body vibration training in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease[J].Respiratory Medicine，2013，18(6):1028—1034.

[24] Gloeckl R, Heinzelmann I, Baeuerle S, et al. Effects of whole body vibration in patients with chronic obstructive pulmonary disease-a randomized controlled trial[J].Respiratory Medicine，2012,106(1):75—83.

[25] Rukavina PB, Li W, Shen B, Sun H. A service learning based project to change implicit and explicit bias toward obese individuals in kinesiology pre-professionals[J]. Obesity facts, 2010, 3(2):117—126.

[26] Berry MJ, Rejeski WJ, Adair NE, et al. Exercise rehabilitation and chronic obstructive pulmonary disease stage[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine，1999,160(4):1248—1253.

[27] Allaire J, Maltais F, Doyon J, et al. Peripheral muscle endurance and the oxidative profile of the quadriceps in patients with COPD[J]. Thorax，2004, 59(8):673—678.

[28] Rees S, Murphy A, Watsford M. Effects of vibration exercise on muscle performance and mobility in an older population[J]. Journal of Aging and Physical Activity，2007, 15 (4): 367—381.

[29] Kongsgaard M, Backer V, Jorgensen K, et al. Heavy resistance training increases muscle size, strength and physical function in elderly male COPD patients a pilot study[J]. Respiratory Medicine, 2004, 98(10):1000—1007.

[30] Alexander JL, Phillips WT, Wagner CL. The effect of strength training on functional fitness in older patients with chronic lung disease enrolled in pulmonary rehabilitation[J]. Rehabilitation Nursing, 2008, 33(3):91—97.

[31] Arnardottir RH, Sorensen S, Ringqvist I, et al. Two different training programmes for patients with COPD: a randomised study with 1-year follow-up[J]. Respiratory Medicine，2006, 100(1):130—139.

[32] Panton LB, Golden J, Broeder CE, et al. The effects of resistance training on functional outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. European Journal of Applied Physiology，2004, 91(4):443—449.

[33] Nakayama H, Shibuya M, Kaneko N, et al. Benefit of in-phase chest wall vibration on the pulmonary hemodynamics in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. Respirology(Carlton, Vic), 1998, 3(4):235—240.

[34] Cristiano LM, Schwartzstein RM. Effect of chest wall vibration on dyspnea during hypercapnia and exercise in chronic obstructive pulmonary disease[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine，1997, 155(5): 1552—1559.

[35] Leduc D, Brunko E, De Troyer A. Response of the canine internal intercostal muscles to chest wall vibration[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine，2001, 163(1):49—54.

[36] Muir J, Kiel DP, Rubin CT. Safety and severity of accelerations delivered from whole body vibration exercise devices to standing adults[J]. Sports Medicine Australia, 2013, 16 (6):526—531.

[37] Rittweger J, Just K, Kautzsch K, et al. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial[J]. Spine, 2002, 27(17):1829—1834.