

机械振动在神经康复训练中的作用

杨建玲¹ 周文芳² 毕 胜³ 隋建锋⁴

体育运动训练和神经系统疾病的运动康复训练一直是科学研究的热点,提高运动和康复训练的效率,无论对于体育事业的发展还是康复工程的进步都有巨大的经济效益。人体结构的复杂性导致其中很多环节都成为黑箱问题,只能将人体建立成一个系统模型,通过对比输入量和输出量之间的关系,探索和验证中间环节的黑箱问题。

针灸、电刺激、磁刺激、机械振动、超声波等^[1-5]方法已经被作为输入量运用到人体系统模型,以探究它们和人体肌肉、骨骼和神经之间关系。其中机械振动具有安全性高、重复性强、舒适性好、非侵入式等优点,近十几年研究中机械振动被全世界广泛关注,相关的研究比较多并且效果得到认可。本文正是在此基础上,总结机械振动与人体肌肉、骨骼、神经之间的关系,找出机械振动在运动和康复训练中的应用规律,对今后的科研和实际应用有一定的帮助。

为了探究机械振动与人体肌肉、骨骼和神经之间的关系,正确地指导机械振动在运动和康复训练中的应用,本文综述文献,试图找出机械振动频率、幅值等因素对训练的影响。合理利用不同频率和振幅的机械振动,能够有效地提高其在运动、康复、提示方面的作用。

1 机械振动的研究现状

人和动物有多种途径获取外部信息^[6],其中重要的是感觉系统,主要包括视觉、听觉、触觉、压觉等,感知信号各自传回大脑,在大脑进行加工融合以判断外界情况。触觉是动物所具有的原始感觉,它使得生物可以感觉到外界情况,从而去适应现状、规避风险。多数动物的触觉器是遍布全身的,像人的皮肤位于人的体表,依靠表皮的游离神经末梢能感受温度等。振动的敏感性取决于振动位置、振动幅度、频率、接触面积、时间以及受试者性别、年龄、皮肤状况等。人类能感受到的振动频率范围不像声音频率那么广,主要集中在20—1000Hz,振幅范围0.4—55dB,55dB以上开始有疼痛感^[7]。

根据目前研究现状,主要从以下三个方面论述机械振动的作用和应用:①体育运动训练时缓解肌肉紧张和疲劳,提高平衡性、协调性和肌肉耐力,防止骨质疏松,体感音乐能够有效缓解和放松肌肉痉挛,放松心情;②刺激Ia神经纤维,产

生I波,有效刺激到大脑皮质运动感觉区激发运动电位,提高运动康复训练的有效性,有助于大脑皮质神经的重塑,治疗足下垂改善步态等;③刺激皮肤中的本体感受器,在触觉提示方面有很好的用途,如盲人导航、军事应用等方面。

2 机械振动与运动训练

有效地提高运动员体育竞技成绩并且避免运动损伤,一直是运动训练专家和教练员关注的热点,也是运动训练的重点和难点。目前对运动训练采用的机械振动方法主要有两种:局部振动训练(local-vibration training)和全身振动训练(whole body vibration training, WBV)^[8],振动频率主要集中在20—50Hz,振幅为1.5—10mm。肌肉是运动的基础,其力量大小是运动员完成技术动作、取得好成绩的关键,肌肉力量训练多采用局部力量训练的方法,主要对某一关节的肌肉群进行局部振动;运动训练过程中不仅仅需要提高肌肉力量,还要提高运动员协调性和平衡能力,同时有效的降低疲劳感,这方面主要采用全身振动训练。

许多研究指出了机械振动与运动训练中肌肉力量、协调性、平衡能力之间的关系。

俄罗斯Nasarov 1987年发现机械振动可以增加肌肉力量和伸展性^[9-10],最早将振动引入到体育训练中。1994年以色列温盖特研究院的Issurin等^[11]学者对28例健康男性受试者为期3周的振动训练(频率:44Hz,振幅:3mm),发现机械振动训练能有效增加肌张力和伸展性。1998年意大利罗马第二大学Bosco等^[12]对14例健康受试者进行全身振动刺激(频率:26Hz,振幅:10mm),10天后发现该方法显著提高下肢肌肉力量和运动速度。2000年德国柏林自由大学Rittweger等^[13]对37例健康受试者(21男,16女)跳高训练中加入振动刺激(频率:26Hz,振幅:3—5mm),通过训练得出结论振动能引起疲劳导致膝伸展力矩减小,跳跃高度反而降低。2002年芬兰坦佩雷UKK学会Torvine等^[14]通过对56例健康青年受试者(21男,35女)4个月的跳高、短跑运动训练结合全身振动刺激(频率:25—40Hz,振幅:2mm)的观察和测试,得出结论全身振动刺激明显地提升了跳跃力量与膝伸肌最大等长肌力,但对动态和静态的平衡能力没有太大改善。2003年

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.07.027

1 威海市立医院,威海市和平路70号,264200; 2 山东省文登整骨医院; 3 中国人民解放军总医院; 4 清华大学
作者简介:杨建玲,女,主治医师; 收稿日期:2014-12-14

比利时天主教鲁汶大学 Delecluse 等^[15]学者在全身振动平台(频率:35—40 Hz,振幅:2.5—5mm)上对 67 例健康女性进行 12 周的膝关节伸肌运动训练,发现实验组(机械振动)与对照组相比(无机械振动)膝伸肌等长和动态肌力增加显著。2004 年比利时天主教鲁汶大学的 Roelantse 等^[16]48 例健康女性受试者进行有无全身振动训练的对比试验,经过 24 周的时间发现采用全身振动训练的受试者等长和动态膝关节伸展力量显著增加,腿伸展动作的速度和反向跳成绩显著增加。2004 年温州师范学院唐剑峰等^[17]采用振动(频率:20—25Hz)台力量训练法(VSM)和传统力量训练方法(TM)对比对 10 例跳远专修的学生进行 8 周的下肢肌肉力量训练,实验结果表明,VSM 比 TM 训练法能更有效地提高屈伸肌群的快慢速肌力,使屈伸肌群的快慢速肌力得到同时协调的发展,但实验结果还表明 VSM 对肌肉耐力的作用效果不是很理想。2005 年比利时天主教鲁汶大学 Delecluse 等^[18]又对 24 例短跑运动员(12 男,12 女)采用全身振动训练(频率:35—40Hz,振幅:1.7—2.5mm)5 周,但与之前的结论不同的是振动刺激没有改变短跑运动员膝伸肌和屈肌等长和动态的肌力以及膝伸展的速度。2006 年荷兰内梅亨大学 van Nes 等^[19]对 53 例肢体障碍患者进行为期 6 周的机械振动刺激训练(频率:30Hz,振幅:3mm),与对照组相比振动刺激没有明显改善平衡和提高生活能力。2007 年希腊雅典大学 Paradis 等^[20]对 24 例短跑运动员(12 男,12 女)进行 6 周的全身振动训练(频率:25—50 Hz,振幅:2.5mm),得出结论振动训练有效地改变了短跑运动员的技术和爆发力,有效提高成绩。2007 年上海交通大学陈伟婷等^[21]通过检测振动力量训练过程中表面肌电信号近似熵的变化规律,得出结论振动力量训练时机体不易疲劳。2008 年北京市体育科学研究所任满迎等研究人员^[22]采用 30Hz 和 45Hz 两种频率,振幅全为 7mm 的机械振动对 8 例女性垒球运动员进行全身振动训练,发现全身振动刺激能够有效地提高膝关节肌群力量的训练效果,45Hz 与 30Hz 相比能更有效提高膝关节肌群的最大力量、快速力量。2010 年首都体育学院尹军教授等^[23]对 14 例跳远运动员(8 男,6 女)进行 8 周振动训练(频率:25—40 Hz)对比试验,对两组受试者踝关节屈伸肌群进行等速力量测试,发现振动力量训练更有利于踝关节趾屈肌最大力量的发展,但要防止使用过强的刺激导致深度疲劳。2012 年香港理工大学 Lam 等^[24]对 13 例老年人进行全身振动刺激,利用 Tinetti Body Balance Score 和 Tinetti Gait Score 评价振动刺激在平衡及步态方面的作用,结果表明振动刺激在改善老年人步态、平衡能力以及跌倒方面效果不太确定,高质量的振动刺激可能对这些方面有所改善。2013 年匈牙利塞麦尔维斯大学 Gyulai 等^[25]对 24 例健康男性进行上肢运动训练结合振动刺激(频率:30Hz,振幅:6mm),发现机械振动有助于上

肢运动训练,但个体之间差异性较大,振动刺激没有改变受试者体内睾酮分泌情况,即振动刺激不是由于改变荷尔蒙来影响运动。

许多研究表明机械振动能有效地提高肌肉力量、运动速度,改善协调性和平衡能力,在运动员体育训练和肢体功能障碍恢复训练中发挥重要作用;但是也有部分研究表明,机械振动在运动训练中的效果不明显,甚至增加受试者的疲劳感降低训练成绩。因此在使用机械振动配合运动训练过程中,应控制好振动频率、振幅、时间以及振动位置,大部分研究表明有效的机械振动频率范围是 20—50Hz,振幅范围是 1.5—10mm。

3 机械振动与皮质运动区兴奋性

机械振动除了在运动训练提高肌肉力量等方面有比较广泛的应用,近几年在康复训练中也被重点研究,研究表明机械振动频率为 80—120Hz,振幅为 0.1—0.5mm 时,能有效刺激到大脑皮质运动区产生兴奋,有助于康复训练大脑皮质区域功能的重塑和重组,提高康复效率。

1989 年法国马赛人类神经生物学实验室 Roll 等^[26]研究员通过对 27 例男性健康受试者机械振动实验,得出结论肌梭中 Ia 传入神经纤维对振幅为 0.2—0.5mm 的机械振动最敏感。2001 年德国汉诺威医学院 Rollnik 等^[27]学者对 25 例健康受试者(12 男,13 女)采用机械振动(频率:120Hz,振幅:0.5mm)和经颅磁刺激两种刺激方式,对大脑皮质运动区进行观察,发现经颅磁刺激与对比组相比抑制脑皮质运动区兴奋性而机械振动能够用加强皮质运动区兴奋性。2003 年英国伦敦神经研究所 Rosenkran 等^[28]对 14 例健康受试者(8 男,6 女)进行手部第一指骨间肌、拇短展肌、小指展肌分别进行振动刺激(频率:80Hz,振幅:0.2—0.5mm)结果发现振动增加了该肌肉的诱发电位幅值,却抑制了其他两块肌肉的诱发电位幅值,并且肌肉振动能调节大脑皮质运动区的电流。同年德国哥廷根大学 Paulus 等^[29]对 16 例健康年轻受试者(7 男,9 女)腕部肌肉进行振动刺激(频率:80Hz,振幅:0.5mm),得到结论振动能增加振动肌肉皮质兴奋性,对其他肌肉不产生影响,同时振动激活 Ia 传入神经纤维产生 I 波传入大脑减少皮质的抑制效应。2008 年意大利欧洲大脑研究所 Marconi 等^[30]学者对 26 例健康受试者(15 男,11 女)在桡侧腕屈肌自主收缩过程中机械振动(频率:100Hz,振幅:0.05—0.1mm),发现刺激后大脑平层对侧半球的兴奋性持续 2 周,延长了大脑皮质运动区的兴奋或抑制的变化情况,可能对运动康复训练有帮助。2010 年意大利罗马萨皮恩扎大学 Paoloni 等^[31]对 44 例脑卒中患者进行胫骨前肌和腓肠肌机械振动刺激(频率:120Hz,振幅:0.01mm),经实验发现振动刺激能改善足下垂和步态,在脑皮质运动区产生兴奋,提高了大脑皮质的可塑

性。2011年意大利欧洲大脑研究所 Marconi 等^[32]学者对 30 例脑卒中偏瘫患者(17 男,13 女)下肢肌肉进行机械振动刺激(频率:100Hz,振幅:0.2—0.5mm),得出结论机械振动能有效改善肌肉强制性痉挛,增强运动功能,可以作为一种温和的神经康复方法。2013 年意大利罗马生物力学与运动分析实验室 Tavernese 等^[33]对 44 例脑卒中偏瘫患者上肢肌肉进行机械振动刺激(频率:120Hz,振幅:0.01mm),发现机械振动能有效改善中枢神经对运动的控制能力,提高脑卒中患者上肢完成动作的质量。

4 机械振动与触觉提示

人类获得外部信息的方法主要是通过感觉系统,其中触觉是很重要的一个方面,利用机械振动刺激触觉获得信息是近几年研究的重点。触觉是微弱的机械刺激兴奋了皮肤浅层的触觉,感受器主要包括以下四类:Merkel 盘、Ruffini 末梢、Meissner 小体和 Pacinian 小体^[34],每种感受器有各自敏感的信号^[35],这些振动器在关节处分布比较密集,所以关节处的振动触觉更加敏感^[36]。Verrillo 发现触觉对于 200—300Hz 振动频率段最为敏感,尤其是 250Hz^[37—38]。

2003 年美国普渡大学 Tan 等^[39]对 10 例在校大学生(5 男,5 女)背部躯干进行振动触觉提示(频率:250—300Hz,振幅:27dB)方面的相关实验,发现与视觉反馈相比,有效的振动触觉能够减少反应时间,而无效的振动触觉反而增加反应时间。2004 年美国麻省理工学院 Lieberman 等^[40]研制一套用于穿戴的振动反馈提示(频率:250Hz)的外套,振子位于关节附近,经过 40 例健康的受试者测试,结果表明利用振动反馈系统能有效提高受试者任务学习的正确率,将会对体育训练、神经疾病康复、姿态矫正等有很大帮助。2007—2008 年清华大学吴芳芳等^[41—42]对 6 例老年志愿者和 8 例年轻志愿者(10 男,4 女)进行足底噪音振动刺激(频率:100,200Hz)足底振动刺激能够提高足底敏感度改善人体静态平衡控制能力,且 200Hz 效果优于 100Hz,年轻人的平衡能力改善优于老年人。2009 年加拿大渥太华大学 Barghout 等^[43]对 12 例年轻受试者(11 男,1 女)前臂进行振动刺激(频率:220Hz),发现人能够有效感知机械振动且关节处的触觉敏感度高于肌肉处的,感知动态机械振动的正确率高于静态振动。2009 年东南大学李莅圆等^[44]研发一种穿戴型振动触觉数据腰带,对 20 例大学生(19 男,1 女)进行训练和测试,发现适应性训练可提高触觉方位提示的有效性和准确性,采用动态编码方式的效果优于单一振动编码。2010—2011 年美国斯坦福大学 Shull 等^[45—46]对 10 例膝关节疾病患者进行振动触觉提示实验,由于重心对足底产生的偏转力矩使得膝关节内侧容易受伤,经过长时间训练发现振动触觉(频率:250Hz)能有效提示受试者将重心偏向膝关节外侧,减少对内侧的压力,改善步态。

2010—2012 年美国哈佛医学院 Wall 等^[47—48]采用陀螺仪和压力传感器分别对 9 例受试者(5 男,4 女)的躯干姿态和足底压力进行检测,采用振动触觉提示(频率:250Hz)纠正姿态和步态,发现振动触觉提示能有效地帮助受试者调整姿态以及改善步态。

5 小结

不同频率段对人体产生的影响是不同的,可以调整机械振动的特性满足不同的刺激需求。但是由于振动的强度和ación 所产生的疲劳,目前还不是很清楚,所以机械振动像一把双刃剑,恰当地运用能提高运动和康复训练的效果,错误地使用会让受试者产生疲劳感,降低训练的效率。运用不同频率段机械振动的组合实现多种刺激方式将会是今后研究的一个重点。

参考文献

- [1] 郭泽新, 汪润生, 马兰萍. 治疗中风偏瘫需要针灸与康复医学的结合[J]. 中国针灸, 2002, 22(4): 268—270.
- [2] Limousin P, Krack P, Pollak P, et al. Electrical stimulation of the subthalamic nucleus in advanced Parkinson's disease [J]. New England Journal of Medicine, 1998, 339(16): 1105—1111.
- [3] Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, et al. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study[J]. Journal of neurophysiology, 1995, 73(6): 2608—2611.
- [4] Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training [J]. Medicine and science in sports and exercise, 2003, 35(6): 1033—1041.
- [5] Katakura K. Method and apparatus for the measurement and medical treatment using an ultrasonic wave: U.S. Patent 5,040,537[P]. 1991-8-20.
- [6] Wickens C. Multiple resource8 and mental workload[J]. Hum Factors, 2008, 50(3): 449—454.
- [7] 雷呈祥, 丁江舟, 司高潮, 等. 振动触觉的研究现状及其应用[J]. 海军医学杂志, 2010, 4: 373—375.
- [8] 周苏源, 危小焰. 基于振动力量训练的研究进展[J]. 首都体育学院学报, 2008, 20(5): 29—31.
- [9] 宋佩成, 李玉章. 振动训练法研究进展[J]. 体育科研, 2010(2): 78—82.
- [10] Luo J, McNamara B, Moran K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power[J]. Sports Medicine, 2005, 35(1): 23—41.
- [11] Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility [J]. Journal of sports sciences, 1994, 12(6): 561—566.
- [12] Dakota GF. The influence of whole body vibration on jumping performance[J]. Biology of sport, 1998, 15(3): 157.
- [13] Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man [J]. Clinical Physiology, 2000, 20(2): 134—142.
- [14] Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, et al. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance[J]. Medicine and science in sports and exercise,

- 2002, 34(9): 1523—1528.
- [15] Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training [J]. *Medicine and science in sports and exercise*, 2003, 35(6): 1033—1041.
- [16] Roelantse M, Delecluse C, Goris M, et al. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females[J]. *International journal of sports medicine*, 2004, 25(01): 1—5.
- [17] 唐剑峰, 叶新新, 彭春政. 振动刺激力量训练对踝关节肌群肌力影响的实验研究[J]. *浙江体育科学*, 2005, 3: 91—94.
- [18] Delecluse C, Roelants M, Diels R, et al. Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes[J]. *International journal of sports medicine*, 2005, 26(8): 662—668.
- [19] van Nes IJ, Latour H, Schils F, et al. Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial[J]. *Stroke*, 2006, 37(9): 2331—2335.
- [20] Giorgos P, Elias Z. Effects of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2007, 6: 44—49.
- [21] 陈伟婷, 王志中, 李晓浦. 振动刺激对肌肉疲劳进程的影响[J]. *北京生物医学工程*, 2007, 26(1): 60—64.
- [22] 任满迎, 潘磊, 魏永旺. 不同频率振动刺激力量训练对膝关节肌群肌力影响的实验研究[J]. *首都体育学院学报*, 2008, 20(3): 72—75.
- [23] 尹军, 钟家银, 杜艳艳, 等. 踝关节局部振动训练与肌力变化影响研究[J]. *北京体育大学学报*, 2010, (6): 66—70.
- [24] Lam FM, Lau RW, Chung RC, et al. The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis[J]. *Maturitas*, 2012, 72(3): 206—213.
- [25] Gyulai G, Rácz L, Di Giminiani R, et al. Effect of whole body vibration applied on upper extremity muscles[J]. *Acta Physiologica Hungarica*, 2013, 100(1): 37—47.
- [26] Roll JP, Vedel JP, Ribot E. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study[J]. *Experimental Brain Research*, 1989, 76(1): 213—222.
- [27] Rollnik JD, Siggelkow S, Schubert M, et al. Muscle vibration and prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation[J]. *Muscle & nerve*, 2001, 24(1): 112—115.
- [28] Rosenkranz K, Rothwell JC. Differential effect of muscle vibration on intracortical inhibitory circuits in humans[J]. *The Journal of physiology*, 2003, 551(2): 649—660.
- [29] Rosenkranz K, Pesenti A, Paulus W, et al. Focal reduction of intracortical inhibition in the motor cortex by selective proprioceptive stimulation[J]. *Experimental brain research*, 2003, 149(1): 9—16.
- [30] Marconi B, Filippi GM, Koch G, et al. Long-term effects on motor cortical excitability induced by repeated muscle vibration during contraction in healthy subjects[J]. *Journal of the neurological sciences*, 2008, 275(1): 51—59.
- [31] Paoloni M, Mangone M, Scettri P, et al. Segmental muscle vibration improves walking in chronic stroke patients with foot drop: a randomized controlled trial[J]. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2010, 24(3): 254—262.
- [32] Marconi B, Filippi GM, Koch G, et al. Long-term effects on cortical excitability and motor recovery induced by repeated muscle vibration in chronic stroke patients[J]. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2011, 25(1): 48—60.
- [33] Tavernese E, Paoloni M, Mangone M, et al. Segmental muscle vibration improves reaching movement in patients with chronic stroke. A randomized controlled trial[J]. *Neuro-Rehabilitation*, 2013, 32(3): 591—599.
- [34] Johansson RS. Receptive field sensitivity profile mechanosensitive units innervating the glabrous skin of the human hand[J]. *Brain Research*, 1976, 104(2): 330—334.
- [35] 王坤赤. 触觉的频率分辨机制研究[J]. *南通大学学报 (自然科学版)*, 2007, 4: 67—70.
- [36] Barghout A, Cha J, El Saddik A, et al. Spatial resolution of vibrotactile perception on the human forearm when exploiting funneling illusion[C]//Haptic Audio visual Environments and Games, 2009. HAVE 2009. IEEE International Workshop on. IEEE, 2009: 19—23.
- [37] Verrillo RT. Age related changes in the sensitivity to vibration[J]. *Journal of Gerontology*, 1980, 35(2): 185—193.
- [38] Soto-Faraco S, Deco G. Multisensory contributions to the perception of vibrotactile events[J]. *Behavioural brain research*, 2009, 196(2): 145—154.
- [39] Tan HZ, Gray R, Young JJ, et al. A haptic back display for attentional and directional cueing[J]. *Haptics-e*, 2003, 3(1): 1—20.
- [40] Lieberman J, Breazeal C. TIKL: Development of a wearable vibrotactile feedback suit for improved human motor learning[J]. *Robotics, IEEE Transactions on*, 2007, 23(5): 919—926.
- [41] 吴方芳, 王人成, 金德闻, 等. 足底振动刺激对人体平衡能力影响的实验测试系统的研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2007, 22(12): 1090—1092.
- [42] 吴方芳, 蔡付文, 王人成, 等. 基于 SD 方法的老年人平衡控制机理分析[J]. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2008, 48(5).
- [43] Barghout A, Cha J, El Saddik A, et al. Spatial resolution of vibrotactile perception on the human forearm when exploiting funneling illusion[C]//Haptic Audio visual Environments and Games, 2009. HAVE 2009. IEEE International Workshop on. IEEE, 2009: 19—23.
- [44] 李莅园, 吴涓, 宋爱国. 基于穿戴型振动触觉数据腰带的方位提示实验研究[J]. *东南大学学报 (自然科学版)*, 2009, S2: 82—86.
- [45] Shull P, Lurie K, Shin M, et al. Haptic gait retraining for knee osteoarthritis treatment[C]//Haptics Symposium, 2010 IEEE. IEEE, 2010: 409—416.
- [46] Shull PB, Lurie KL, Cutkosky MR, et al. Training multi-parameter gaits to reduce the knee adduction moment with data-driven models and haptic feedback[J]. *Journal of Bio-Mechanics*, 2011, 44(8): 1605—1609.
- [47] Wall III C, Kentala E. Effect of displacement, velocity, and combined vibrotactile tilt feedback on postural control of vestibulopathic subjects[J]. *Journal of Vestibular Research*, 2010, 20(1): 61—69.
- [48] Wall III C, Wrisley D, Oddsson L. Vibrotactile feedback of mediolateral trunk tilt or foot pressure increases locomotor performance in healthy older adults -a pilot study [C]//34th Annual International Conference of the IEEE EMBS. IEEE, 2012.