

· 临床研究 ·

不同功能活动对老年人群下肢成骨指数的影响

程群 陈勇

【摘要】 目的 评估不同功能活动对老年人下肢成骨指数(OI)的影响,并探讨适合老年人群且有助于其骨骼健康的运动方式。**方法** 共选取健康老年人 20 例,每一位受试者根据抽签结果按照随机顺序进行以下 4 项训练,分别是单腿踏板、坐位到站位、原地跳起及原地踏步训练,同时计算每位受试者在进行上述运动时的 OI 值。 $OI \text{ 值} = \text{最大地面反作用力}(\text{peakGRF}) / (\text{体重} \times 9.8) \times \ln(\text{重复训练次数} + 1)$ 。**结果** 原地跳起时 OI 值(7.52 ± 2.06)和原地踏步时 OI 值(6.51 ± 1.59)均显著高于单腿踏板时 OI 值(5.22 ± 0.63) ($P < 0.05$),坐位到站位训练时 OI 值(2.23 ± 0.42)最小。通过相关性分析发现,受试者原地跳起时的高度及原地踏步时脚抬起的高度与 OI 值间均无明显相关性($P > 0.05$)。**结论** 单腿踏板及原地踏步均有较高的 OI 值,这两种功能活动均适用于老年人群并有助于其骨骼健康。

【关键词】 骨质疏松; 骨密度; 负荷训练; 成骨指数; 老年人

The effects of functional activities on osteogenesis in the elderly CHENG Qun, CHEN Yong. Department of Rehabilitation Medicine, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

Corresponding author: CHEN Yong, Email: yongchen713@yahoo.cn

【Abstract】 Objective To evaluate the osteogenic potential of selected exercises and determine which one has the greatest value for the elderly. **Methods** Twenty healthy old subjects were recruited in the study. Each subject performed the following four exercises in random order: stepping onto a 4-in riser (STEP), sit-to-stand (STS), jumping (JUMP) and marching (MARCH). The subjects performed successively each of the 4 exercises for 1 minute, with an interval of 3 minutes between each. The Vicon action capture system was used to record the peak ground reaction of the subjects during their exercises. The osteogenic index (OI) was calculated by the formula: $OI = \text{peak GRF} / (\text{body weight} \times 9.8) \times \ln(\text{number of loading cycles} + 1)$. **Results** JUMP and MARCH had superior OI value (7.52 ± 2.06 , 6.51 ± 1.59) than STEP (5.22 ± 0.63) among the 4 exercises ($P < 0.05$). STS was found to have the lowest OI (2.23 ± 0.42) in the elderly. There was no significant correlation between the height and OI in JUMP and MARCH ($P > 0.05$). **Conclusion** STEP and MARCH had the higher OI value and could be deemed as the better ways to induce positive effects on bone health in the elderly population.

【Key words】 Osteoporosis; Bone density; Loading exercise; Osteogenic index; The elderly

目前骨质疏松症(特别见于绝经后女性)发病率逐年上升,已成为一个严重的临床及社会问题^[1,2]。骨质疏松症表现为骨量下降和骨微细结构破坏^[3],患者容易摔倒和发生骨折^[4],而运动对于减少骨质流失及增加骨量具有明显疗效。相关研究表明,高强度负荷训练可有效增加正常人群骨密度及促进骨形成^[5]。对于绝经后妇女,负荷训练同样有益于增强肌力并减少骨密度下降幅度^[6-7]。运动训练过程中的机械应力刺激有利于骨量增加^[8,9],如负荷训练时所产生的地面反作用力(ground reaction force, GRF)即是一种有效刺激骨形成的机械应力^[9]。由于老年人群各项生理机

能减退,不适应较高强度运动的冲击,因此需找寻一些适合老年人群的运动方式。有学者设计了一种称之为成骨指数(osteogenic index, OI)的数学模型用于评估运动对骨骼健康的影响^[8,10-11];随后有多项研究表明 OI 值可反映不同负荷活动对下肢负重骨的促成骨作用^[12-15]。基于上述背景,本研究选取 20 例老年对象分别进行不同功能活动(包括原地跳起、单腿踏板、坐位到站位及原地踏步训练),并采用 OI 指标观察上述活动的促成骨潜能及安全性,从而探讨适合老年人群并有益于其骨骼健康的锻炼方法。现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

本研究对象入选标准包括:①年龄 ≥ 55 岁;②能独立行走;③具有良好理解及交流能力;④可以耐受

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.08.014

作者单位:430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院康复科

通信作者:陈勇,Email: yongchen713@yahoo.cn

1 h 康复训练。排除标准包括:①有下肢疼痛;②有严重的神经系统疾病(如脑卒中、脑外伤、癫痫等)、心血管系统疾病(如近期有心肌梗死、心绞痛等)、肌肉骨骼系统疾病(如截肢、全髋关节置换、近期骨折等)及其他运动禁忌证。共有 20 例年龄介于 55~75 岁的受试者参与本测试,其中男 9 例,女 11 例,年龄(58.1 ± 6.9)岁。所有受试者均签署知情同意书,同时该研究也得到香港理工大学伦理委员会批准。

二、研究方法

提前告知受试者穿着舒适的鞋子参加测试,将分别写有 4 项运动名称的纸条置入 4 个不同的信封中,让受试者随机抽取信封并按照抽取顺序进行锻炼。这 4 项运动分别是:①单腿踏板,要求受试者将非优势侧脚放在测力板上,优势侧脚则反复踩踏一块 10 cm 高的踏板。②坐位到站位,嘱受试者坐在一张没有扶手的椅子上,椅子高度以受试者双脚能完全接触测力板为宜,受试者双脚与肩同宽,并且踝关节能够背屈 10° ,膝关节屈曲 $100 \sim 105^\circ$ 。要求受试者尽可能快地站起和坐下,如有需要,受试者站起过程中可用双手给予支撑。③原地跳起,受试者双脚分别站在 2 块测力板上,然后在原地尽可能向上跳起。在跳跃过程中提醒受试者不要跳出测力板范围。④原地踏步,受试者双脚分别站在 2 块测力板上,以最快速度交替高抬腿进行原地踏步锻炼。上述每项运动均持续 1 min,当进行下一项运动前让受试者休息 3 min,以避免受试者过度疲劳。

采用 VICON 动作捕捉系统检测受试者在训练过程中的最大地面反作用力(peak ground reaction force, peakGRF)和反射标记球运动轨迹。以 1 min 内采集到的 peakGRF 数量视为重复运动次数,每项运动的 OI 值可通过以下公式计算, $OI = \text{peakGRF} / (\text{体重} \times 9.8) \times \ln(\text{重复运动次数} + 1)$ [8]。

三、统计学分析

本研究所得计量数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 17.0 版统计学软件包进行数据分析。受试者各项运动 OI 值比较采用单因素方差分析(One-way ANOVA)及配对 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义;采用皮尔逊相关系数(pearson correlation coefficient)评估原地跳起高度及原地踏步时抬腿高度与 OI 值间的相关性。

结 果

所有受试者均完成 4 项运动测试,通过计算各项运动的 OI 值,发现原地跳起和原地踏步时的 OI 值均明显高于单腿踏板时 OI 值($P < 0.05$),以坐位到站位训练时的 OI 值最小,具体数据见表 1。表中数据显

示,单腿踏板的 OI 值与其它 3 项运动 OI 值间差异均具有统计学意义($P < 0.05$),另外坐位到站位训练时 OI 值与原地跳起、原地踏步时 OI 值间差异也具有统计学意义($P < 0.05$);原地踏步 OI 值与原地跳起 OI 值间差异无统计学意义($P > 0.05$)。通过相关性分析发现,原地跳起时高度($P = 0.195, P > 0.05$)及原地踏步时抬腿高度($P = 0.158, P > 0.05$)与其 OI 值间均无显著相关性。

表 1 本研究受试者 4 项运动测试结果比较

锻炼项目	例数	peakGRF (N)	重复运动次数 (次/分钟)	OI 值	锻炼时脚离地高度(mm)
单腿踏板	20	688.84 ± 89.26	74.65 ± 15.83	5.22 ± 0.63	0
坐位到站位	20	360.89 ± 81.47	32.70 ± 5.36	2.23 ± 0.42^a	0
原地跳起	20	1036.29 ± 306.12	67.10 ± 25.57	7.52 ± 2.06^{ab}	24.12 ± 10.93
原地踏步	20	924.38 ± 258.36	56.15 ± 10.31	6.51 ± 1.59^{ab}	44.11 ± 12.45

注:与单腿踏板时 OI 值比较, $^a P < 0.05$;与坐位到站位时 OI 值比较, $^b P < 0.05$

讨 论

运动对骨组织产生的影响取决于其运动方式、运动强度及持续时间,通过 GRF 作用于骨组织,不仅使股骨颈骨密度显著增加 [16-17],还可促进骨形成及抑制骨吸收 [17]。有研究推测其治疗机制可能与身体重力传递有关。直立运动时身体重力经股骨颈传至地面,与之方向相反的 GRF 则沿股骨颈向上传递,其反复冲击负荷对股骨颈产生机械应力刺激,从而增加骨密度、抑制骨量流失;还有学者指出,GRF 越大的运动对骨密度的增加作用越显著 [18]。

本研究结果表明,在单腿踏板、坐位到站位、原地跳起及原地踏步共 4 项运动中,单腿踏板锻炼时的 OI 值处于中间水平。对于老年人群而言,单腿踏板运动是一种理想的锻炼方式。因为单腿踏板运动不仅安全,而且不需要特殊的锻炼器材及空间,在任何地方都可以进行锻炼。一项随机对照研究表明,踏步训练可有效改善骨质疏松女性患者的功能性身体适应能力、健康状态、自我健康感觉等,并增加脊柱和股骨颈的骨密度(bone mineral density, BMD) [7]。

坐位到站位锻炼时的 OI 值是上述 4 项运动 OI 值中最小的。坐位到站位作为一种功能性动作,通常是某些神经系统疾病(如脑卒中、脑外伤、脑瘫)患者的治疗性训练项目之一 [19-21],可提高患侧肢体负重能力,从而改善患侧下肢功能及骨骼健康,但该训练对健康人群的治疗作用有限。除此之外,快速的站起动作容易引起体位性低血压,导致眩晕甚至意识丧失 [22-23]。鉴于以上原因,本研究认为坐位到站位锻炼并非改善老年人群骨骼健康的理想运动方式。

原地跳起锻炼时的 OI 值是上述 4 项运动 OI 值中

最大的,该结果并不让人觉得意外。如相关研究表明,与单腿踏板、坐位到站位及原地踏步等训练比较,机体在跳跃运动中其下肢骨骼承受的应力最大^[24]。虽然原地跳起锻炼可增加健康人群的 BMD^[25],然而对于该训练是否适合老年人群本研究持保留意见。因为本研究在 1 min 训练过程中观察到,大多数受试者只能在前 30 s 内保持稳定的跳跃频率和高度,随后他们会感到劳累并减慢跳跃频率、降低跳跃高度、甚至最后停在原地休息,导致训练效果不理想。另外虽然 GRF 与跳跃的高度具有正相关性,但本研究相关性分析结果显示跳跃高度与 OI 值间并无显著相关性($P > 0.05$)。根据公式 $OI = \text{peakGRF} / (\text{体重} \times 9.8) \times \ln(\text{重复运动次数} + 1)$,可见 OI 值不仅与 GRF 有关,还与锻炼频率有关。随着跳跃高度增加,跳跃频率随之出现下降,最终 OI 值并没有随跳跃高度增加而增大。除了上述原因外,跳跃动作还容易引起脚踝扭伤、跟腱断裂^[26]及膝关节劳损等不良反应^[27],故本研究认为原地跳跃可能并不适于老年人群进行锻炼。通过进一步分析各项运动 OI 值发现,原地踏步时 OI 值与原地跳起时 OI 值间差异无统计学意义($P > 0.05$),这意味着原地踏步锻炼的促成骨作用与原地跳起锻炼相近。已有研究证实原地踏步锻炼可增加老年人群股骨 BMD^[25],其安全性优于原地跳起锻炼,并且前者还不需要任何特殊设备。鉴于上述因素,本研究认为原地踏步是适合老年人群进行骨骼负重锻炼的理想运动方式。

综上所述,单腿踏板和原地踏步锻炼均具有较高的 OI 值,且安全性较好,提示这两种功能活动均适用于老年人群进行下肢负重锻炼;关于上述运动方式对改善老年人群 BMD 或对骨微细结构的影响还需更多纵向研究及影像学数据加以证实。

参 考 文 献

- [1] 刘忠厚. 骨质疏松学. 北京: 科学出版社, 1998: 529-543.
- [2] 李安荣. 骨质疏松症. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1998: 38-491.
- [3] Rutherford OM. Is there a role for exercise in the prevention of osteoporotic fractures. *Br J Sports Med*, 1999, 33: 378-386.
- [4] Kannus P, Niemi S, Palvanen M, et al. Fall-induced injuries among elderly people. *Lancet*, 1997, 350: 1174.
- [5] Vincent KR, Braith RW. Resistance exercise and bone turnover in elderly men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34: 17-23.
- [6] Asikainen TM, Kukkonen-Harjula K, Mäkelä S. Exercise for health for early postmenopausal women: a systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med*, 2004, 34: 753-778.
- [7] Chien MY, Wu YT, Hsu AT, et al. Efficacy of a 24-week aerobic exercise program for osteopenic postmenopausal women. *Calcif Tissue Int*, 2000, 67: 443-448.
- [8] Turner CH, Robling AG. Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exerc Sport Sci Rev*, 2003, 31: 45-50.
- [9] Bennell K, Khan K, McKay H. The role of physiotherapy in the prevention and treatment of osteoporosis. *Manual Ther*, 2000, 5: 198-213.
- [10] Umemura Y, Ishiko T, Yamauchi T, et al. Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *J Bone Miner Res*, 1997, 12: 1480-1485.
- [11] Robling AG, Burr DB, Turner CH. Recovery periods restore mechanosensitivity to dynamically loaded bone. *J Exp Biol*, 2001, 204: 3389-3399.
- [12] Lester ME, Urso ML, Evans RK, et al. Influence of exercise mode and osteogenic index on bone biomarker responses during short-term training. *Bone*, 2009, 45: 768-776.
- [13] Santos-Rocha RA, Oliveira CS, Veloso AP. Osteogenic index of step exercise depending on choreographic movements, session duration, and stepping rate. *Br J Sports Nutr*, 2006, 40: 860-866.
- [14] Erickson CR, Vukovich MD. Osteogenic index and changes in bone markers during a jump training program: a pilot study. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42: 1485-1492.
- [15] Lau RW, Pang MY. An assessment of the osteogenic index of therapeutic exercises for stroke patients: relationship to severity of leg motor impairment. *Osteoporos Int*, 2009, 20: 979-987.
- [16] Kohrt WM, Ehsani AA, Birge SJ Jr. Effects of exercise involving predominantly either joint-reaction or ground-reaction forces on bone mineral density in older women. *J bone Miner Res*, 1997, 12: 1253-1261.
- [17] 宁科, 高晓华. 毽球运动对老年人下肢骨密度和骨代谢指标的影响. *陕西教育学院学报*, 2010, 26: 109-111.
- [18] 章晓霜, 高顺生. 运动对骨质疏松的影响. *北京体育师范学院学报*, 1999, 11: 64-68.
- [19] Pang MY, Eng JJ, Dawson AS, et al. A community-based fitness and mobility exercise program for older adults with chronic stroke: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc*, 2005, 53: 1667-1674.
- [20] Pang MY, Ashe MC, Eng JJ, et al. A 19-week exercise program for people with chronic stroke enhances bone geometry at the tibia: a peripheral quantitative computed tomography study. *Osteoporos Int*, 2006, 17: 1615-1625.
- [21] Marigold DS, Eng JJ, Dawson AS, et al. Exercise leads to faster postural reflexes, improved balance and mobility and fewer falls in older persons with chronic stroke. *J Am Geriatr Soc*, 2005, 53: 416-423.
- [22] Halliwill JR. Virtual conductance, real hypotension: what happens when we stand up too fast. *J Appl Physiol*, 2007, 103: 421-422.
- [23] Freeman R. Neurogenic orthostatic hypotension. *N Engl J Med*, 2008, 358: 615-624.
- [24] Burr DB, Milgrom C, Fyhrie D, et al. In vivo measurement of human tibial strains during vigorous activity. *Bone*, 1996, 18: 405-410.
- [25] Welsh L, Rutherford OM. Hip bone mineral density is improved by high-impact exercise in post-menopausal women and men over 50 years. *Eur J Appl Physiol*, 1996, 74: 511-517.
- [26] Nieuwenhuijzen PH, Grüneberg C, Duysens J. Mechanically induced ankle inversion during human walking and jumping. *J Neurosci Methods*, 2002, 117: 133-140.
- [27] Tibesku CO, Pässler HH. Jumper's knee—a review. *Sportverletz Sportschaden*, 2005, 19: 63-71.

(修回日期: 2013-07-19)

(本文编辑: 易 浩)