

- formed in vitro[J]. J Orthop Res, 2003, 21 (4):590—596.
- [31] Frank EH, Jin M, Loening AM. A versatile shear and compression apparatus for mechanical stimulation of tissue culture explants[J]. J Biomechanics, 2000, 33(11):1523—1527.
- [32] Waldman SD, Spiteri CG, Grynblas MD, et al. Effect of biomechanical conditioning on cartilaginous tissue formation in vitro[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(2):101—105.
- [33] 杨志明, 王跃, 解慧琪, 等. 应用无支架离心管培养技术构建组织工程化关节软骨[J]. 中华骨科杂志, 2000, 9(20):521—524.
- [34] 孔清泉, 杨志明, 项舟, 离心力在体外构建组织工程软骨中的作用[J]. 中华实验外科杂志, 2005, 22(3):281—283.
- [35] 李彬, 张西正, 张永亮, 等. 骨组织工程中的应力与生长[J]. 国外医学·生物医学工程分册, 2003, 26(3):129—134.
- [36] Portner R, Nagel-Heyer S, Goepfert C. Bioreactor design for tissue engineering [J]. J Bioscience and Bioengineering, 2005, 100(3):235—245.
- [37] Hammond TG, Hammond JM. Optimized suspension culture: the rotating wall vessel [J]. Am J Physiol Renal Physiol, 2001, 281(1):12—25.
- [38] Klaus DM. Clinostats and bioreactors [J]. Gravity Space Biol Bull, 2001, 14(2):55—64.
- [39] Nickerson CA, OTT CM, Wilson JW. Microbial responses to microgravity and other low-shear environments[J]. Microbiology and Molecular Biology Rev, 2004, 68(2):345—361.

· 综述 ·

有氧运动的运动量-效应关系: 运动科学的角度分析

郑德采¹

现代化程度的增长也致使很多疾病迅猛地增长, 例如心血管系统疾病、代谢性疾病、肿瘤、骨骼系统疾病等^[1]。在这些疾病的运动能力的恢复中, 康复医学起了很重要的作用^[2], 运动疗法涵盖的内容非常多, 如针对神经系统疾病的神经促通技术等, 特别是有氧运动, 这种运动对心肺代谢功能是有益的, 但不同运动量所产生的效果也不一样。那么, 两者的运动量和效应关系(以下简称量-效应关系)如何呢^[3]? 本文就目前研究进展做一综述, 以进一步明确其研究动向, 为康复运动处方的量化提供科学依据。

1 有氧运动和运动量-效应关系的概念

运动疗法是运动在医学中的应用, 是以运动科学、生物力学和神经发育学为基础, 以达到改善躯体、生理、心理和精神的功能障碍为主要目标, 以作用力和反作用力为主要因子的一种治疗方法^[4]。有氧运动是指人体在氧气供应充足的情况下的长时间、中低强度的耐力运动。人体在长时间有规律的有氧运动之后会改善血流量、增加氧气的供应、增加脂肪的消耗、改善心血管的功能、增强肺功能等。随着障碍学的发展和神经生理学的研究深入, 运动疗法已经形成了针对某种疾患进行康复治疗的独立体系。研究表明不同运动水平(量)与某种健康参数(如危险因素、疾病、生活质量等)之间存在着某种特定的联系, 这种联系如同医药模式中用药剂量与疾病治疗效果之间的特定关系一样^[5]。医生可以根据这种关系开出最有效的用药处方, 而康复医学工作者也可根据运动的这种量-效应关系(dose-response)制订出安全有效的运动处方, 以便提高身体素质, 最终达到预防和治疗疾病的目的。

2 有氧运动的类型和运动的量与效

2.1 有氧运动的类型

有氧运动是一种增强人体吸收、输送和使用氧气为目的的耐力运动。在整个运动过程中, 人体消耗和吸收的氧气差不多, 特点是低强度、有节奏、持续时间长, 并且方便易行、容易坚持。运动的方式有很多, 如步态训练行走、跑步机、踏车

运动、水中康复、肢体功能锻炼等。

在康复科患者的治疗中, 有氧运动起了很重要的作用, 有氧运动能够全面提高身体素质, 心肺功能和肌肉耐力, 促进机体各组织器官的协调作用, 使人体机能达到最佳状态。而且有氧运动强度相对较小, 不易疲劳, 能够持续较长时间。

2.2 运动量在治疗中的研究

在运动科学的描述中, “量”(dose)即运动量, 为运动强度与运动时间、频度的乘积, 是此三要素的综合效应。其中运动强度则是运动处方量化与科学化的核心问题, 是取得锻炼效果的关键。因此, 评价运动量其重点在于强度指标的确定。为了更科学地描述运动量指标, Edward(2001)^[6]把运动归纳为休闲时间的身体活动、工作中的身体活动和抗阻力训练三种不同的身体活动方式。对于休闲时间的身体活动而言, 有耗氧量(L/min)、总卡路里消耗量(kCal)和代谢当量(METs)等绝对强度指标以及最大摄氧量百分比(%VO₂max)、摄氧储备百分比(%VO₂R)、心率储备百分比(%HRR)、最大心率百分比(%HRmax)和 Borg 的主观用力程度指数(RPE)等相对强度指标; 对于工作中的身体活动而言, 由于其时间恒定为 8 小时/天, 且强度不同, 故活动量较难确定, 目前尚无统一的标准; 而抗阻力练习运动量的指标不同于有氧运动, 其运动量和运动强度取决于 1RM 的百分比(%1RM)、每组的重复次数、组数及组间间隔时间。

目前, 在疾病的量-效应关系的研究中, 主要关注每周总热量消耗量(kCal/周)这一指标。因此, 为了准确了解某种特定的量-效应关系, 能量消耗的测定方法应具备较高的有效性和可靠性。Michael 等(2001)^[7]总结了能量消耗的测量方法: 直接法有双标水法、活动监视装置法(motion detectors)和身体活动记录表法(PA records, logs, and recalls); 间接法有摄氧量测定法(VO₂)、心率测定法(HR)、体温测定法、肺通气量测

1 广东省中医院康复中心, 广州, 510120

作者简介: 郑德采, 男, 住院医师

收稿日期: 2005-03-22

定法(VE)和身体活动问卷法(PA questionnaires)。目前,许多研究人员正尝试建立其“金标准”,并探讨如何综合利用各种生理指标和活动监视装置,以更加客观准确地测定出运动量,特别是准确描述运动中的身体活动水平。

2.3 运动的“效”在治疗中的研究

“效”(response)即运动所产生的健康效应。虽然一次性运动可以产生一定的健康效应(如降血脂、血压、运动能力等等)^[9],但仍缺乏充分的证据表明其存在量-效关系,故现在运动“效”的研究更多在于长期规律性运动方面。近年来该领域的研究焦点已由以前的怎样提高和发挥最大的心肺和血管潜能,逐渐转到为了达到特定的健康效应,确定其所需的最小身体活动水平方面^[9]。特定的健康效应包括^[10]降低心血管疾病的死亡率和发病率、血压的控制、代谢性健康的提高(预防肥胖、调节血糖、预防糖尿病、维持血脂水平)、骨质疏松的延缓、免疫力的提高、运动能力水平的提高以及精神健康的改善,从而有效地预防了各种脑血管疾病。因此,描述健康效应的指标包括疾病的死亡率、发生率、与这些疾病有关的危险因素和生物因子(血压、血糖、血脂、骨密度等)以及生存质量等指标。

2.4 运动的量-效关系

近年来国外有大量的资料表明运动量与健康效应之间存在着某种特定的量-效关系。不同个体,运动量与各种健康效应指标之间的关系曲线不完全相同(图 1)^[11]。

A: 中小水平的运动量就可使缺乏运动的人的某些健康指标获得明显的改善;B: 运动量与肥胖控制、运动量与某些疾病死亡率和发病率存在此种线性关系;C: 有些健康指标的改善必须当运动量达到一定水平时才可获得一定效果

图 1 运动量-效关系模型

3 有氧运动的量-效关系在疾病防治中的应用

3.1 有氧运动对心血管系统疾病的预防与作用

中老年人参加有氧身体锻炼可以通过非特异方式改变某些生理生化指标^[12],从而降低心血管系统疾病(包括冠心病、充血性心力衰竭、高血压病、动脉硬化、高脂血症、心肌症)的死亡率和发病率,并且运动与某些生理生化指标之间存在着某种特定的量-效关系。

流行病学调查和 Meta 分析^[13]均显示运动有助于血压的控制。但最佳的运动处方,尤其是运动强度的确定仍在争论之中。Fagard^[13]对不同运动量与降压效果之间的关系进行了分析:每周 3—5 次、每次 30—60min 中等强度的运动可降压 3.4/2.4mmHg ($P<0.001$),且高血压患者的降压效果更明显。Haskell^[9]认为每周消耗 300—1300kCal 的能量有较明显的降压效果,超过 1300kCal 效果则大大减退。

血脂中的低密度脂蛋白水平增加、高密度脂蛋白水平减少、甘油三酯水平增加分别被认为是一级、二级和三级冠心病发生的危险因素。有氧运动可以提高高密度脂蛋白水平(平均增加 4.6%),而高密度脂蛋白每提高 1%可降低 3.5%冠心病的危险性。Leon 和 Sanchez^[14]总结了 1979—1999 年的 51 篇相关文献,并没有明确建立运动量与高密度脂蛋白提高的量-效关系,分析原因可能是大多数研究所设定的运动量超出了高密度脂蛋白提高所需的最小量(男性平均 1500kCal/周,女性平均 1205 kCal/周)。

Haskell^[9]与 Gledhill 等^[2]确定了运动与一些代谢性指标之间的量-效关系(图 2)。低密度脂蛋白、甘油三酯和血压的量-效关系曲线如图 1 中的 A 所示,对于缺乏运动的人而言,增加少许运动量就可提高其相应的健康水平;身体成分变化如 B 所示,肥胖的控制可减小心血管疾病的危险性;而高密度脂蛋白的提高需要较大量的身体活动才能见效,如 C 曲线。而当每周的运动量超过 3000kCal 可能会产生相反的健康效应。

图 2 运动量与健康效益之间的量-效关系及健康水平

另外,有氧锻炼还可减少儿茶酚胺从心脏的释放;促进迷走神经系统的总活性;开通冠状侧支循环血管,增加冠状血管的扩张,说明内皮功能有所改变^[15]。由于这些指标在研究中很难制订出统一的标准,因此笔者目前还没有见到此方面关于量-效关系的文献。

缺乏运动者可能已伴有心血管的病理变化,在制订运动处方时除考虑运动量的控制外更主要的是掌握好相对的运动强度,确保运动的安全有效。

3.2 肥胖症的控制

能量摄入的增多与日常体力活动的减少已成为全世界肥胖流行的主要原因。大量对肥胖控制中的量-效关系研究是在不限制饮食的前提下进行的,试图直接找出运动量与减肥效果之间的变化关系。

Robert 等^[16]综述了 1971—2000 年有关的研究成果,对观察时间 ≤ 16 周的短期实验组进行回归研究,发现其存在明显的量-效关系(平均消耗 2200kCal/周,减少 0.26kg 体重/周,减少 0.25kg 体脂/周,即每周能量消耗的增加与体重和体脂的减少呈线性关系)。同时发现 ≥ 26 周的长期研究组不存在量-效关系(平均消耗 1100kcal/周,减少体重和体脂均为 0.06kg/周)。但这种量-效关系主要是从男性群体实验观察中获得的,针对女性的研究比较少。他们还指出运动与内脏脂肪的减少以及与其他局部脂肪的减少(用腰围变化表示)有关,但没有足够的证据能够建立起其中的量-效关系。

目前还没有充分证据表明运动可以减轻与年龄相关的脂肪堆积程度。但是有氧运动在脂肪的消耗中能够起良好的作用却已经被很多专家所印证。DiPietro(1999)^[17]等研究发现运动时间的变化(即心肺功能变化)与肥胖控制之间的量-效关系;随着运动时间的增加,体重的增长量减小(体重减轻)。而心肺功能的变化与年龄增长有关,因此可以间接地推断规律运动可以提高心肺耐力,防止与年龄增长有关的肥胖。如图 2 所示身体成分的改善与运动量之间存在着直线的量-效关系。

3.3 糖尿病的预防与作用

缺乏运动也是目前糖尿病发病率增高的一个重要因素。缺乏运动一方面可造成肥胖,另一方面也可影响细胞表面胰岛素受体的数目并使其敏感性减弱。近年来对糖尿病的研究较多,Kelley 等^[18]对流行病学调查资料的回顾发现,经常参加运动的女性,糖尿病发生率相对很低,且每周参加 1 次与参加 5 次运动相比,相对危险率从 0.77 降到了 0.58;而每增加 500kCal/周的能量消耗,糖尿病的危险率将降低 6%。尽管许多文献并没有表明预防糖尿病所需的最小运动量,但提示可能存在着某种量-效关系。有学者针对量-效关系做了进一步的研究发现低-中等水平、中等水平、剧烈的身体活动分别可降低 20%、30%、50% 糖尿病的危险率。因此,量-效关系基本成型,但中、低、高水平运动量具体是多少还有待进一步研究。有氧锻炼通过增加葡萄糖跨越肌细胞膜的输送,有助于缓解胰岛素耐受性,从而预防肥胖和 II 型糖尿病^[12]。Haskell^[9]提出运动降低胰岛素抵抗量-效关系也呈现图 1 中 A 所示的规律,即 500—1400kCal/周的运动量可大幅度降低其抵抗性,但之后改善速率缓慢下来。

因此,目前认为中等强度的有氧运动,每周 1500kCal 左右的身体活动量可以有效地预防肥胖和 2 型糖尿病的发生。

3.4 骨骼关节肌肉疾病的预防与作用

骨骼关节肌肉疾病,比如骨质疏松症、骨关节炎、骨折、结缔组织炎症、腰背综合征等发生都与运动不足有关。

衡量骨质疏松程度的指标是骨密度,主要有两个因素影响骨密度^[19]:年轻时(20—25 岁)所达到的骨质峰值(peak bone mass)和成年后,尤其是妇女绝经后(5—10 年)骨质丢失的速率。衰老和缺乏身体活动可导致骨密度下降。动物实验证实:动力型、短时负重或抗阻、负荷不断增加的运动可刺激骨组织发生反应^[20];中长期大强度耐力训练反而会导致骨量的减少^[21],轻-中等强度的训练是否可以影响骨密度还不清楚。但中等强度运动可改善关节的结构功能,还可以控制肥胖,从而间接地预防了骨关节炎的发生。在量-效关系方面,Mangione^[22]等研究发现 10 周低强度(40%HRR)比高强度(70%HRR)自行车运动在改善老年人关节功能、减少关节疼痛、增加有氧能力方面更有效。Vuori^[23]总结到日常身体活动可以作为预防腰背综合征主要预防措施。

良好的肌肉素质(包括肌肉力量、耐力、柔韧性)可以有效地预防骨骼关节肌肉疾病。Rhea^[23]总结出运动量与最大肌力之间的量-效关系。他认为缺乏运动者参加强度为 60% 1RM(大约 12RM),每块肌肉重复 4 组,坚持每周 3 天的训练,而经常训练者参加强度为 80% 1RM(大约 8RM),每块肌

肉重复 4 组,坚持每周 2 天的训练,可发展最大的肌肉力量。这一结论也进一步证实美国运动医学会(ACSM,2002)推荐的抗阻力练习方案从 8—12RM 起步的合理性^[24]。

骨骼关节肌肉疾病中的量-效关系都很难确定,至少有关参数需要进一步的基础研究和测定来明确。另外,运动过度也可引起一系列的骨关节问题,在健康效应量-效关系研究的同时还应注意健康效应与运动损害的平衡点。

4 量-效关系研究在防治脑血管疾病中的应用展望

大量流行病学调查发现缺乏运动可以使人处于非健康的状态,而年轻时对机体功能造成的潜在负面影响的积累是导致生命后阶段生存质量低下的一个重要原因^[25]。运动量与健康效应之间建立起的量-效关系为有效预防脑血管疾病的发生提供了科学依据,同时也为康复运动处方的量化提供了可能。

目前关于量-效关系的研究大都建立在流行病学基础之上。国外的研究较多而且已经开始根据循证医学(evidence-based medicine)的观点,通过对大群体随机抽样严格控制试验结果进行分析,但相对来讲这种研究也比较缺乏。我国的研究普遍停留在定性上而且在进行研究设计时常缺乏对量-效关系的深入探讨。另外,在应用时有一些问题应值得考虑:单一的量-效关系曲线是否适合于不同群体(如年龄、性别和脑血管损伤水平的不同)?不同的运动方式是否可以达到相同的运动量(如有氧运动与力量训练)?无论怎样,未来研究应着重于不同群体及不同地域,使量-效关系的应用具有针对性的指导意义。

虽然有些研究仅呈现出模糊的量-效关系,有的甚至还没有确立量-效关系,但均表明中低等强度的有氧运动可以有效预防脑血管疾病。如今,新的运动方案把原来的“训练-强健模式”(training-fitness model)修改为“活动-健康模式”(activity-health model),即强调降低运动强度延长运动时间^[26]。因此,本文强调运动的量-效关系正是基于这种模式的转变。

参考文献

- [1] 张胜年,刘卓宝.中国疾病预防控制的世纪回顾与展望[J].中国预防医学杂志,2000,1(1):67—69.
- [2] 卓大宏.中国康复医学的成就和面临新世纪的挑战[J].中国康复医学杂志,1999,14(1):3—6.
- [3] Kesaniemi YK,Danforth E,Jensen MD,et al.Dose-response issues concerning physical activity and health:An evidenced-based symposium [J].Med Sci Sports Exe,2001,33(6):351—358.
- [4] 励建安.运动疗法的历史与未来[J].中国康复医学杂志,2003,18(2):68.
- [5] William DM, Frank IK, Victor LK.Exercise physiology [M].Lippincott Williams and Wilkins,2001.888—893.
- [6] Howley ET.Type of activity:resistance,aerobic and leisure versus occupational physical activity [J].Med Sci Sports Exe,2001,33(6):364—369.
- [7] Michael JL,Barbara E.Ainsworth. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose-response[J].Med Sci Sports Exe,2001,33(6):370—378.
- [8] Thompson PD,Croude SF,Goodpaster B,et al.The acute versus the chronic response to exercise [J].Med Sci Sports Exe,2001,33(6):438—445.
- [9] Haskell WL.What to look for in assessing responsiveness to

- exercise in a health context [J]. Med Sci Sports Exe, 2001, 33(6):454—458.
- [10] Haskell WL. The benefits of regular exercise, The exercise health connection[M]. Human Kinetics, 1998:9—301.
- [11] Bouchard C. Physical activity and health: introduction to the dose-response symposium [J]. VMed Sci Sports Exe, 2001, 33(6):347—350.
- [12] LH 奥佩主编. 高天祥, 高天礼译. 心脏生理学—从细胞到循环[M]. 第3版. 北京: 科学出版社, 2001:381—382.
- [13] Fagard RH. Physical activity in the prevention and treatment of hypertension in the obese [J]. Med Sci Sports Exe, 1999, 31(11):624—630.
- [14] Leon AS, Sanchez OA. Response of blood lipids and lipoproteins to exercise training alone or combined with dietary intervention[J]. Med Sci Sports Exe, 2001, 33(6):502—515.
- [15] Haskell WL. Health consequences of physical activity: Understanding and challenges regarding dose-response [J]. Med Sci Sports Exe, 1994, 26(6):649—660.
- [16] Ross R, Janssen I. Physical activity, total and regional obesity: dose-response consideration [J]. Med Sci Sports Exe, 2001, 33(6):521—527.
- [17] DiPietro L. Physical activity in the prevention of obesity: current evidence and research issues [J]. Med Sci Sports Exe, 1999, 31(11):542—546.
- [18] Kelley DE, Goodpaster BH. Effects of exercise on glucose homeostasis in Type 2 diabetes mellitus [J]. Med Sci Sports Exe, 2001, 33(6):495—501.
- [19] 黄融. 绝经后骨质疏松症的防治进展[J]. 中国临床康复, 2002, 6(23):3546.
- [20] Vuori IM. Dose-response of physical activity and low back pain, osteoarthritis, and osteoporosis [J]. Med Sci Sports Exe, 2001, 33(6):551—586.
- [21] 王人卫, 高勇, 陆爱云, 等. 大强度运动训练对雌性大鼠性激素和骨密度的影响 [J]. 中国运动医学杂志, 2003, 22(2):121—125.
- [22] Mangione KK, McCully K, Gloviak A, et al. The effects of high-intensity and low-intensity cycle ergometry in older adults with knee osteoarthritis [M]. Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1999, 54:184—190.
- [23] Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, et al. A meta-analysis to determine the dose-response for strength development[J]. Med Sci Sports Exe, 2003, 35(2):456—464.
- [24] Kraemer WJ, Adams K, Cafarell E, et al. American college of sports medicine position stand: progression models in resistance training for healthy adults [J]. Med Sci Sports Exe, 2002, 34(2):364—380.
- [25] 陈佩杰. 运动促进健康[J]. 上海体育科研, 2003, 24(1):46—48.
- [26] 周士枋. 运动疗法进展与我们的差距[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19(2):116—117.

·综述·

支气管哮喘与运动

赵丽萍¹

支气管哮喘是由多种细胞特别是肥大细胞、嗜酸性粒细胞和T淋巴细胞参与的慢性气道炎症。表现为反复发作的喘息、气促、胸闷和咳嗽等症状。目前认为哮喘是一种多基因遗传病,受遗传因素和环境因素的双重影响。对各种激发因子具有气道高反应性,并引起气道缩窄是哮喘的重要特征。1990年及2000年我国调查了27个城市的居民哮喘发病状况,儿童哮喘患病率由0.91%上升到1.50%,上升了65%^[1]。虽然不适当的运动可诱发哮喘的发作,但另一方面,适当的运动又可以辅助哮喘的治疗。本文就哮喘与运动之间的关系做一简要阐述,并介绍国外最新的哮喘运动疗法。

1 缺少运动的生活方式是引起哮喘发病增加的原因之一

近三十年来,哮喘的发病率明显增加^[1-2],生活方式的改变是与其对应的,儿童和成人的体力活动明显减少,体力活动的减少与哮喘的流行时间过程是一致的。Rasmussen等^[3]通过对757名儿童进行了10年6个月的前瞻性研究,结果表明减少体力活动与青少年哮喘的发病是明显相关的。Huovine等^[4]对262对双胞胎进行了17年的跟踪研究,发现参加运动训练的双胞胎患哮喘的危险性减小。

2 运动诱发支气管痉挛

2.1 不适当的运动可诱发支气管痉挛

先前的研究已表明,患哮喘的儿童在进行激烈运动时可

引起支气管痉挛,又称为运动诱发哮喘^[5-6]。支气管痉挛通常发生在体力活动开始的头5—10min,第二个5—10min症状达到高峰,停止体力活动60—90min可返回到基线水平^[7]。

2.2 机制

有关运动诱发哮喘的机制已有多年的研究,也提出了不少学说。为大多数人接受的观点主要有:①热交换学说,认为运动时大量冷空气的吸入引起支气管痉挛,此学说对小气道痉挛的解释是由于运动引起的神经体液反应造成的^[8]。②渗透压学说,认为运动引起气道表面水分的蒸发,使黏膜细胞内水分减少,黏膜的干燥和渗透压增高刺激肥大细胞脱颗粒,导致炎症介质(如组胺)的释放,引起气道狭窄^[9]。③炎症介质的释放,研究表明白三烯、前列腺素等也参与了运动诱发哮喘的发生,用白三烯受体拮抗剂可以不同程度阻断运动诱发哮喘的发生^[10-11]。然而,运动中同时有交感神经兴奋,交感神经体液(肾上腺素)具有松弛支气管平滑肌的作用,因此通常不会立即发作哮喘,必须达到介质作用超过肾上腺素作用时才会诱发。治疗哮喘的康复运动选择在准备活动后的不反应期内进行,该不反应期正是由于肥大细胞重新颗粒化所需要的时间(约2h)。

1 华东师范大学体育与健康学院,上海,200062

作者简介:赵丽萍,女,博士,副教授

收稿日期:2005-08-21