

- fracture pre-vention in nursing homes[J]. Osteoporos Int, 2001, 12:794—799.
- [7] Lin YC, Wong AM, Chou SW, et al. The effects of Tai Chi Chuan on postural stability in the elderly: preliminary report[J]. Chang Gung Med J, 2000, 23(4):197—204.
- [8] Wong AM, Lin YC, Chou SW, et al. Coordination exercise and postural stability in elderly people: effect of tai chi chuan[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 62:608—612.
- [9] Hong Y, Li JX, Robinson PD: Balance control, flexibility, and cardiorespiratory fitness among older tai chi practitioners[J]. Br J Sports Med, 2000, 34:29—34.
- [10] Carter ND, Khan KM, Petit MA, et al. Results of a 10 week community based strength and balance training program to reduce fall risk factors: a randomized controlled trial in 65—75 year old women with osteoporosis [J]. Br J Sports Med 2001, 35:348—351.
- [11] Ernst E. Exercise for female osteoporosis. A systematic review of randomised clinical trials [J]. Sports Med, 1998, 25(6):359—368.
- [12] Kelley GA, Kelley KS, Tran ZV. Resistance training and bone mineral density in women: a meta-analysis of controlled trials [J] American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 2001; 80(1): 65—77.
- [13] Bonaiuti D, Shea B, Iovine R, et al. Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women [J]. Cochrane Database of Systematic Reviews. 4, 2007.
- [14] Fuchs RK, Bauer JJ, Snow CM. Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial [J]. J Bone Miner Res, 2001, 16: 148—156.
- [15] Heinonen A, Sievanen H, Kannus P, et al. High-impact exercise and bones of growing girls: a 9-month controlled trial [J]. Osteoporos Int, 2000, 11:1010—1017.
- [16] Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H, et al. Good maintenance of exercise-induced bone gain with decreased training of female tennis and squash players: a prospective 6-year follow-up study of young and old starters and controls [J]. J Bone Miner Res, 2001, 16:195—201.
- [17] Winter KM, Snow CM. Detraining reverses positive effects of exercise on the musculoskeletal system in premenopausal women[J]. J Bone Miner Res, 2000, 15:2495—2503.
- [18] Sundberg M, Gardsell P, Johnell O, et al. Peripubertal moderate exercise increases bone mass in boys but not in girls: a population based intervention study[J]. Osteoporos Int, 2001, 12: 230—238.
- [19] Kujala UM, Kaprio I, Kannus P, et al. Physical activity and osteoporotic hip fracture risk in men[J]. Arch Intern Med, 2000, 160:705—708.
- [20] Huuskonen J, Väisänen SB, Kröger H, et al. Regular physical exercise and bone mineral density: a four-year controlled randomized trial in middle-aged men. The DNASCO study[J]. Osteoporos Int, 2001, 12(5): 349—355.
- [21] Iwamoto J, Takeda T, Ichimura S. Effect of exercise training and detraining on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis[J]. J Orthop Sci 2001, 6:128—132.
- [22] Kerschan-Schindl K, Uher E, Kainberger F, et al. Long-term home exercise program: effect in women at high risk of fracture[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81:319—323.
- [23] Beshgetoor D, Nichols JF, Rego I. Effect of training mode and calcium intake on bone mineral density in female master cyclists, runners, and non-athletes [J]. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2000, 10(3):290—301.
- [24] Chien MY, Wu YT, Hsu AT, et al. Efficacy of a 24-week aerobic exercise program for osteopenic postmenopausal women[J]. Calcif Tissue Int, 2000, 67:443—448.
- [25] Walker M, Klentrou P, Chow R, et al. Longitudinal evaluation of supervised versus unsupervised exercise programs for the treatment of osteoporosis[J]. Eur J Appl Physiol, 2000, 83: 349—355.
- [26] Sagiv M, Vogelaere PP, Soudry M, et al. Role of physical activity training in attenuation of height loss through aging[J]. Gerontology, 2000, 46:266—270.

·讲座·

健身锻炼实践中人体吸氧量的间接推算方法

岳静静¹ 何玉秀²

随着人们科学健身意识的提高,健身锻炼已成为日常生活中重要的组成部分。如何有效地进行体育锻炼,促进健康,可以通过制定适宜的运动处方来实现,即个性化运动处方。而制定运动处方的关键要素是确定合理的运动负荷。在运动实践中,常用的监控运动负荷的机能代谢指标主要有:心率、吸氧量、梅脱和血乳酸等,其中,吸氧量指标更能准确地反映机体在运动过程中所承受的运动负荷,是运动试验研究和运动处方制定中应用最广泛的指标之一。

1 吸氧量在健身锻炼中的应用

吸氧量是指在肺换气过程中,由肺泡气扩散入肺毛细血管并供给人体实际消耗或利用的氧量。它随着机体负荷强度

及负荷量的增加而增加,因此,准确快捷的监测运动中相应负荷下的吸氧量有着非常重要的意义。

1.1 评定负荷强度

运动强度越大,吸氧量越大,二者之间有较高的相关性,因此,可以用吸氧量来评定运动强度。然而,最大吸氧量存在个体差异。在运动过程中,即使不同个体的吸氧量水平相同,但其相对最大吸氧量的利用程度不尽相同,所以,常以最大吸氧量的百分比($\% \dot{V}O_{2max}$)来表示运动强度,可进行个体间运

1 河北师范大学体育学院,石家庄,050016

2 通讯作者:何玉秀(河北师范大学体育学院,石家庄,050016)

作者简介:岳静静,女,在读硕士

收稿日期:2007-06-28

动强度的比较,是目前运动生理实验研究中应用极为广泛的一种强度评价形式^[1]。

1.2 评定运动负荷量

吸氧量的总量随着运动负荷量的增加而增加,在确定的强度下运动,负荷量越大总的吸氧量也越大,因此可以通过监测一定强度下一定时间内总的吸氧量来评定运动负荷量。

2 吸氧量的间接推算方法

准确快捷的监测运动中的吸氧量非常重要,但吸氧量的直接测量需要昂贵的仪器设备,这使得人们使用吸氧量这一指标受到很大限制,吸氧量间接推算法即吸氧量推算公式的出现为人们提供了方便。

2.1 美国运动医学会推荐的吸氧量推算公式

目前国际上应用范围最广的吸氧量推算公式是美国运动医学会(American College of Sports Medicine, ACSM)推荐的(见表 1),该公式主要有 4 种运动形式,即跑台走、跑运动、手摇和脚踏功率车运动,以及台阶运动,但应注意在使用这些公式的时候,应考虑公式的适用范围,超出此范围,吸氧量的推算值则无效^[2-4]。

表 1 美国运动医学会推荐的吸氧量推算公式(ACSM 2006)

运动形式	吸氧量($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	安静吸氧量($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
跑台走步运动	$\dot{V}\text{O}_2 = S^a \times 0.1 + S \times G^b \times 1.8$	+3.5
跑台跑步运动	$\dot{V}\text{O}_2 = S^a \times 0.2 + S \times G^b \times 0.9$	+3.5
脚踏功率车	$\dot{V}\text{O}_2 = W^c / M^d \times 10.8 + 3.5$	+3.5
手摇功率车	$\dot{V}\text{O}_2 = W^c / M^d \times 18.0$	+3.5
上下台阶运动	$\dot{V}\text{O}_2 = F^f \times 0.2 + F \times h^f \times 1.8 \times 1.33$	+3.5

注: S^a = 跑台速度 (m/min); G^b = 跑台坡度 (%); W^c = 功率 (W); M^d = 体重 (kg); F^f = 蹬踏台阶的频率 (次/min); h^f = 台阶高度 (m)

跑台走步运动的吸氧量推算公式适用于步速在 50—100m/min 的运动,应用跑台跑步运动的吸氧量推算公式时应注意跑台的速度大于 134m/min,如果确定是慢跑而不是走步,该公式也可以应用于跑速在 80—134m/min 的运动。应用脚踏功率车运动吸氧量推算公式时功率车的瓦数应在 50—200W 之内;手摇功率车吸氧量推算公式则只适用于负荷在 25—125W 的运动。ACSM 的吸氧量推算公式能够有效推算运动中一定负荷条件下机体处于真稳定状态的吸氧量值,但不适用于推算最大吸氧量 ($\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$),当该公式应用于最大吸氧量推算时推算值将会大于实测值。

ACSM 的吸氧量推算公式适用范围较广,它适用于所有健康人群,普遍性较好,但健康人群是一个多层次性群体,具有年龄、性别和体重等特征差异,所以应用此公式时缺乏针对性,同一公式应用于不同人群将会出现不同误差。

2.2 其他吸氧量推算公式

人们在对 ACSM 吸氧量推算公式的使用过程中不断发现其中的不足,并对其进行了修订和补充,以下是国外学者针对不同运动形式及不同人群所建立的吸氧量推算公式。

2.2.1 跑台走步运动:跑台走步运动是一种强度较小的运动形式,目前针对特定人群所建立的吸氧量推算公式有 2 个,即 Berry 等针对老年关节炎患者和 Morgan 针对儿童所建立的吸氧量推算公式。

关节炎在老年人群中发病率较高,运动作为一种物理疗法能够有效改善其症状,但是不适宜的运动加剧病情,为老年关节炎患者制定合理的运动处方是一个关键问题。Berry 等^[5]以 414 例老年关节炎患者为研究对象建立了适用于该人群的吸氧量推算公式:

$$\dot{V}\text{O}_2(\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 0.0698 \times \text{速度}(\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) + 0.8147 \times \text{坡度}(\%) \times \text{速度}(\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) + 7.533$$

该公式不但可以推算机体处在稳定状态的吸氧量值,而且也可以用于推算机体处于非稳定状态下的吸氧量峰值,这是与其他公式的最大区别,并且作者选取的样本量大,稳定性较好。

儿童与成年人相比,运动时的代谢不够经济,在相同的外负荷下运动,儿童表现出与体重不成比例的较高吸氧量。Morgan 等^[6]以 23 名年龄在 6—10 岁之间的儿童作为受试者(14 男 9 女)建立适用于该人群的吸氧量推算公式:

$$\dot{V}\text{O}_2(\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 24.852 + 0.003214 \times \text{步速}(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})^2 - 0.995 \times \text{年龄}(\text{岁}) - 0.263 \times \text{步速}(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$$

该公式对男女儿童均适用,没有性别差异,因此,作者的样本量就显得比较单薄,特别是女性儿童只有 9 名,但公式考虑到了儿童这一群体的特殊性。目前少年儿童的生长发育以及运动员的早期选材与训练备受关注,跑台跑的吸氧量推算公式的研究更有价值,该公式为进一步研究奠定了基础。

2.2.2 跑台跑步运动:跑台跑步运动是实验室经常采用的一种运动形式,现有研究多为水平跑或具有一定坡度的跑台运动,对下坡跑的研究多集中在肌肉酸痛和肌肉损伤上,而对下坡跑负荷与吸氧量之间的关系研究不多。Margaria 研究了速度在 9—22km/h 之间坡度在 -20%—15% 之间的跑台运动,结果表明,在水平、上坡和下坡的跑台运动中能量消耗与跑速之间存在线性关系。Robergs 等^[7]以 13 名青年学生为研究对象(8 男,5 女)建立了下坡跑台运动的吸氧量推算公式:

$$\dot{V}\text{O}_2(\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 6.8192 + 0.1313 \times \text{速度}(\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) + 1.2367 \times \text{坡度}(\%)$$

下坡跑是运动训练中常用的一种运动形式,该公式的建立为这种训练形式的进一步研究提供了方便。

2.2.3 脚踏功率车运动:脚踏功率车克服了体重对运动负荷的影响,运动过程中采集血样相对容易,且安全系数较高,是实验室常用的运动形式。1992 年 Patrick^[8]以 60 名 19—39 岁之间的男性为研究对象建立了适用于该人群的吸氧量推算公式:

$$\dot{V}\text{O}_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = \text{功率}(\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}) \times 1.9 + [3.5 \times \text{体重}(\text{kg})] + 260$$

Latin 对公式进行了检验,该公式准确性较好。

1994 年 Richard^[9]以 100 名平均年龄为 26.0±4.8 岁的女性为研究对象,建立了一个适用于青年女性的吸氧量推算公式:

$$\dot{V}\text{O}_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = \text{功率}(\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}) \times 1.6 + 3.5 \times \text{体重}(\text{kg}) + 205$$

同时取 40 名受试者检验该公式的精确性,结果表明该公式应用于青年女性有较好的准确性。

1997 年 Richard 等^[10]在已有的分别针对青年男女的吸

氧量公式的基础上建立了一个青年男女均适用的吸氧量推算公式。作者以 100 名平均年龄为 26.0 ± 4.8 岁的女性和 110 名平均年龄为 26.4 ± 4.8 岁的男性为研究对象建立公式:

$$\dot{V}O_2(\text{ml}/\text{min}) = \text{功率}(W) \times 11.0 + 6.7 \times \text{体重}(\text{kg})$$

并取 100 名同质人群(40 名女性,60 名男性)验证了该公式的精确性。该公式和以上两个公式相比,适用对象没有性别差异,并且样本量大,稳定性相对较好。

2.2.4 手摇功率车运动:手摇功率车运动是一种以上肢为主的运动形式,相对于跑台和脚踏功率车运动而言,其负荷较小,常用于特殊患者运动康复的研究。

心脏病是当今威胁人类健康的主要疾病之一,运动疗法是心脏病患者康复治疗的一个重要手段。心脏病患者运动时,运动负荷和吸氧量之间的关系不同于健康人群。1994 年 Brown 等^[11]以 31 名年龄在 36—83 岁的心脏康复患者为研究对象建立了一个适用于心脏病患者的吸氧量推算公式:

$$\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = 253.381 - 2.001 \times \text{年龄}(\text{岁}) + 2.947 \times \text{体重}(\text{kg}) + 9.764 \times \text{功率}(W) + 0.026 \times \text{功率}^2$$

由于该公式含有较多变量,所以使用不方便,2000 年 Stanle^[12]以 Brown 等^[11]在现有实验数据的基础上对公式进行了修订,修订后公式为:

$$\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = 2.16 \times \text{功率}(\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}) + 285$$

该公式只含有一个变量,使用方便,但建立公式的样本年龄跨度大,且样本量小,这会对公式的精确性产生影响。

对于偏瘫患者,运动疗法非常重要。但关键是如何确定一个合理的运动负荷,手摇功率车是实验室常用仪器中唯一适用于偏瘫患者的一种运动装置,1999 年 Kotaro 等^[13]以 55 名平均年龄为 62.4 岁的老年偏瘫患者(42 男 13 女)和 13 名平均年龄为 57.6 岁健康老年人(5 男 8 女)为研究对象建立了老年偏瘫患者和正常健康老年人的手摇功率车运动吸氧量推算公式,老年偏瘫患者的吸氧量推算公式为:

$$\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = \text{功率}(\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}) \times 4.2 + 4.2 \times \text{体重}(\text{kg}) + 105.6$$

正常健康老年人的吸氧量推算公式为:

$$\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = \text{功率}(\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}) \times 4.3 + 2.9 \times \text{体重}(\text{kg}) + 105.5$$

该公式的出现为老年偏瘫患者的康复训练及老年人健身运动处方的制定提供了方便。

2005 年 Swapan 等^[14]以 60 名女性作为研究对象建立了一个手摇功率车吸氧量推算公式,受试者平均年龄为 26.5 ± 14.4 岁,运动前随机分为两组,一组 40 名建立公式,另一组 20 名检验公式的精确性。作者建立的吸氧量推算公式为:

$$\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 23.461 - 0.272 \times \text{体重}(\text{kg}) + 0.403 \times \text{功率}(W)$$

比较该公式吸氧量推测值、ACSM 的手摇功率车吸氧推算公式推测值、实测值,结果表明该公式能够更加准确的推算女性手摇功率车运动中的吸氧量值。

3 小结

ACSM 的吸氧量推算公式适用范围广泛,并且精确性好。ACSM 之外的吸氧量推算公式有其自身优点,分别适用于不同对象,具体到年龄、性别和某些疾病人群等,公式的精确性进一步提高,但适用范围较狭窄。在使用公式的时候,一定

要注意作者建立公式的受试者的各种特征,如年龄、性别、健康水平和体脂%等,只有与建立公式的受试者属于同质人群才可以使用。

样本量是公式稳定性的一个有利保障,从上述公式的建立过程可以看出,ACSM 之外建立的公式样本量不够大。ACSM 建议建立公式的样本量为 100—400 人,最小样本量也要满足公式中每出现一个预测变量至少要有 10—20 个样本的要求,本文介绍的公式虽然都满足了最小样本量,但部分公式与 100—400 的样本量还有一定差距,因此,在使用这些公式时,要对公式的精确性多加注意。

ACSM 之外的公式与 ACSM 吸氧量推算公式相比,另一个显著特征就是适用对象除了正常健康人群外还包括一些特殊人群,如偏瘫患者、老年关节炎患者和心脏康复患者等,这说明吸氧量推算公式的应用范围在不断扩大。运动对于多种疾病的改善和治疗有着显著作用,如何为这些患者制定合理的运动处方是一个重要的问题。因此,针对不同特殊人群应该建立相适应的吸氧量推算公式,这也是目前在大众健身领域制定运动处方中有待解决的关键问题。

参考文献

- [1] 刘英辉. 各种运动强度分类的比较研究 [J]. 山东体育科技, 2001,23(4):20—25.
- [2] Vivian H. Heyward. Advanced fitness assessment and exercise prescription[M]. London: Human Kinetics Europe Ltd, 2006.
- [3] Franklin BA, Whaley MH, Howley EF, et al. American College of Sports Medicine (2000). ACSM'S guidelines for exercise testing and prescription, 6th edn [M]. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2000.
- [4] 杨静宜, 徐峻华. 运动处方[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [5] Berry MJ, Brubaker PH, Mary L, et al. Estimation of $\dot{V}O_2$ in older individuals with osteoarthritis of the knee and cardiovascular disease[J]. Med Sci Sports Exerc, 1996, 28(7): 808—814.
- [6] Morgan DW, Tseh W, Caputo JL, et al. Prediction of the aerobic demand of walking in children[J]. Med Sci Sports Exerc, 2002, 34(12): 2097—2102.
- [7] Robergs RA, Wagner DR, Skemp KM. Oxygen consumption and energy expenditure of level versus downhill running[J]. J Sports Med Phys Fitness, 1997, 37(3): 168—174.
- [8] Lang PB, Latin RW, Berg KE, et al. The accuracy of the ACSM cycle ergometry equation[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1992, 24(2): 272—276.
- [9] Latin RW, Berg KE. The accuracy of the ACSM and a new cycle ergometry equation for young women [J]. Med Sci Sports Exerc, 1994, 26(5): 642—646.
- [10] Latin RW, Berg KE. A submaximal $\dot{V}O_2$ cycle ergometry equation based on power and body mass for younger men and women [J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 1998, 12(2): 74—78.
- [11] Brown SP, Wu Q, Chitwood LF, et al. The prediction of oxygen consumption in cardiac rehabilitation patients during arm ergometry[J]. Cardiopulmonary Rehab, 1994, 14: 181—188.
- [12] Stanley P, Brown. Prediction of oxygen consumption in Cardiac rehabilitation patients performing arm ergometry [J]. Journal of Exercise Physiology, 2000, 3(4): 74—80.
- [13] Kotaro KAWAGUCHI, Kiyoshi ONARI, Michio YAMAKIDO. An indirect method of estimating $\dot{V}O_2$ from work load using arm-cranking in adult hemiplegic patients [J]. Med Sci, 1999, 48(4): 111—116.
- [14] Swapan Mookerjee, Cynthia Surmacz, Margaret Till, et al. Validation of an equation for predicting energy cost of arm ergometry in women [J]. Eur J Appl Physiol, 2005, 95(2—3): 115—120.