

## 跑步经济性重测信度研究

任占兵<sup>1</sup>, 刘承宜<sup>2</sup>

(1.广州体育学院 运动训练学系, 广东 广州 510500; 2.华南师范大学 激光运动医学实验室, 广东 广州 510006)

**摘 要:** 为了探索在同一天(上午和下午)跑步经济性(RE)的重测信度, 选择 12 名定向越野和中长跑项目学生运动员作为受试对象, 其中女生 5 名, 男生 7 名, RE 测试时间为同一天的上午 09:00 和下午 14:30, 室内气温 20℃, 湿度 45%, 结果发现, 上午 RE 的值为(32.62±2.90) mL/(kg·min), 略低于下午 RE 的值(32.94±3.05) mL/(kg·min), 上下午 RE 测试结果的组内相关系数为 0.928, 说明 RE 重测信度极好。结果表明, 同一天的上午和下午 RE 测量结果比较稳定, 重测信度可靠性极高。

**关 键 词:** 运动生理学; 跑步经济性; 重测信度; 学生运动员

中图分类号: G822 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2013)01-0135-04

### A study of the retest reliability of running economy

REN Zhan-bing<sup>1</sup>, LIU Cheng-yi<sup>2</sup>

(1.Department of Athletic Training, Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, China;

2.Laboratory of Laser Sports Medicine, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** In order to probe into the retest reliability of running economy (RE) measured on the same day (in the morning and afternoon), the authors selected 12 student orienteers and middle and long distance runners (5 girl students and 7 boy students) as testees; the RE test times were 09:00 in the morning and 14:30 in the afternoon on the same day; the indoor air temperature was 20°C, the humidity was 45%. The authors revealed the following findings: the RE value measured in the morning was (32.62±2.90) mL/(kg·min), slightly lower than the RE value measured in the afternoon ((32.94±3.05) mL/(kg·min)); the interclass correlation coefficient of RE test results measured in the morning and afternoon was 0.928, which means that the RE retest liability is excellent. The findings indicate that RE test results measured in the morning and afternoon on the same day are stable, and that the retest reliability is extremely high.

**Key words:** sports physiology; running economy; retest reliability; student athlete

跑步经济性(running economy, RE)是指在次极限负荷的特定速度下跑步, 摄氧量达到稳定状态时每单位体重的摄氧量<sup>[1-4]</sup>。RE 主要用来评价运动员的有氧代谢能力, 目前, 在评价运动员训练方法效果方面比较常见<sup>[5-6]</sup>。研究发现, 影响 RE 的因素是一个比较复杂的系统<sup>[7-8]</sup>, 受试者的疲劳状态、饮食、服装以及室温和湿度等都有可能影响 RE 测量的信度<sup>[4]</sup>。在测试期间, 通过控制训练活动、鞋的一致性、跑台适应时间、测试时间等影响测量误差的客观因素条件下, 在 2.83~4.47 m/s 的速度下, 优秀或一般水平的男性或者

女性跑步者的 RE 变异系数在 1%~4%波动<sup>[9-11]</sup>。上述 RE 测量信度的研究选择测试时间间隔一般是隔日、2 d、4 d、20 d 以及 28 d 等<sup>[9-11]</sup>, 而同一天不同时间 RE 测量的信度尚未有专门研究。研究发现, 生物节律对运动表现会产生一定的影响<sup>[12]</sup>, 生物节律是机体在特定时间内的周期性变化, 有研究指出运动员的最佳表现一般出现在早晨<sup>[13-14]</sup>。那么, RE 是否也会受到生物节律的影响, 从而造成同一天的上午和下午测量结果出现差异呢? 本研究拟通过实验来验证学生运动员 RE 在同一天(上午和下午)的重测信度。

收稿日期: 2012-06-06

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(11002036); 广州体育学院院管科研课题青年项目(QN1003)。

作者简介: 任占兵 (1979-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 体育教育训练学。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

来自广州体育学院定向越野队和中长跑队的12名受试者自愿参与本课题研究,其中女生5名,男生7名,女生基本情况:年龄(20.50±1.00)岁;身高(163.01±4.27)cm、体重(52.96±3.28)kg;男生基本情况:年龄(20.25±0.71)岁;身高(173.64±4.64)cm、体重(66.57±4.60)kg。为了保证RE测试结果不受训练疲劳的影响,在正式测试前1d,所有受试者停止高强度训练,但保持正常的饮食和一般日常活动。测试前,详细说明该实验的目的、注意事项以及可能出现的问题,受试者填写知情同意书,志愿按照实验要求配合工作人员进行测试。

### 1.2 RE测试

RE测试仪器主要采用MAX-II运动心肺功能测试系统、POLAR心率遥测系统、秒表等。RE开始测试的时间分别是上午的09:00和下午的14:30,室内气温20℃,相对湿度45%。受试者穿着自己最舒适的运动服装,下午测试前进行适当的休息。每名受试者均进行了跑台跑步适应,跑台适应分两个阶段:第1阶段,受试者在跑台以4km/h的速度行走10min,进行3次;第2阶段,受试者在跑台以10km/h的速度跑10min,两个阶段累计30min以上。根据RE的定义,RE主要是指在次极限负荷的特定速度下跑步摄氧量达到稳定状态时每单位体重的摄氧量<sup>[14]</sup>,本研究让受试者在10km/h的速度下跑5min,取最后2min的摄氧量的平均值作为RE值。由于可靠性主要指相同条件下同一试验对相同人群重复试验获得相同结果的稳定程度。因此,本研究2次测试的对象、测试仪器以及RE的测试方法、受试者的测试顺序等都保持一致。

### 1.3 数据处理

采用SPSS19.0对各项测量指标的平均数和标准差

进行描述性统计,采用配对*t*检验分析上午和下午测试结果之间的差异,重测信度采用组内相关系数(Intra-class Correlation Coefficient, ICC)进行比较检测。ICC值介于0~1之间,0表示不可信,1表示完全可信。0.90~0.99表示具有极好信度、0.80~0.89表示具有良好信度,0.70~0.79表示具有中等信度,小于0.69表示信度较差<sup>[15]</sup>。对两次重复测量均值的系统性误差采用统计软件MedCalc进行Bland-Altman图形分析。

## 2 研究结果及分析

### 2.1 两次测量RE及相关代谢指标的差异

从表1可以发现,同一天的上午测量的RE结果为(32.62±2.90)mL/(kg·min),略低于同一天的下午RE测量的结果(32.94±3.05)mL/(kg·min),上午测量的VO<sub>2</sub>绝对值(2020.90±347.41)mL/min也略低于同一天下午所测量的VO<sub>2</sub>绝对值(2044.55±369.30)mL/min,但进一步对上午和下午RE测量的相对值和绝对值进行配对*t*检验发现,当显著性水平 $\alpha$ 为0.05时,同一天的上午和下午RE测量结果差异并不具有显著性,另外,同一天上午和下午测试的呼吸交换率(RER)和心率(HR)重复测量结果差异均不具有显著性。

### 2.2 两次测量RE及相关代谢指标的组内相关系数(ICC)

组内相关系数(ICC)最先由Bartko<sup>[16]</sup>用于测量和评价信度大小,本研究选择ICC指标进行判定RE的重测信度。从表1可以发现,RE、VO<sub>2</sub>和HR的ICC分别为0.928(95%置信区间为0.751~0.979)、0.984(95%置信区间为0.946~0.996)和0.916(95%置信区间为0.709~0.976),均大于0.9,说明这3个指标的重测信度极好,而呼吸交换率RER的ICC值为0.665(95%置信区间为-0.163~0.904),小于0.69,说明RER的重测信度较差。

表1 同一天上午和下午RE及相关代谢指标测量统计结果( $\bar{x} \pm s$ )

午别	RE/(mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2</sub> /(mL·min <sup>-1</sup> )	RER	HR/(次·min <sup>-1</sup> )
上午	32.62±2.09	2 020.90±347.41	0.94±0.08	165.44±11.87
下午	32.94±3.05	2 044.55±369.30	0.92±0.04	165.77±12.51
<i>t</i> 值	-0.72	-0.919	1.24	-0.61
<i>P</i> 值	0.49	0.38	0.24	0.55
ICC	0.92	0.984	0.665	0.916
95%CI	0.751~0.979	0.946~0.996	-0.163~0.904	0.709~0.976

### 2.3 两次测量RE及相关代谢指标均值的系统误差

Bland-Altman图形分析显示RE两次测量绝对误差为0.3mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,一致性界限为2.7~3.3mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>。RE两次测量平均差异值分布显示没有系统性误差,VO<sub>2</sub>两次测量绝对误差为23.6mL/min,

一致性界限为151.0~-198.3mL/min,VO<sub>2</sub>两次测量平均差异值分布显示没有系统性误差;RER两次测量绝对误差为0.023,一致性界限为0.146~-0.099,RER两次测量平均差异值分布显示没有系统性误差;HR两次测量绝对误差为1.2次/min,一致性界限为

12~14.3 次/min, HR 两次测量平均差异值分布显示没有系统性误差。

### 3 讨论

本研究发现, RE 测量的可靠性比较高。这在一定程度上归因于严格的实验控制, 例如, 受试者进行了足够的跑台适应, 测试前身体状态良好, 无疲劳症状, 两次测试穿着统一, 两次测试时间间隔一定。Morgan DW<sup>[10]</sup>的研究发现, RE 重复测量的差异为 1.86%, 波动范围在 0.44%~6.24%, 变异系数 CV 为 1.32%, 波动范围 0.30%~4.40%, RE 重复测试的相关性达到 0.95, 前后测试结果 *t* 检验差异不具有显著性, 说明 RE 测量的稳定性比较好。Williams T J<sup>[17]</sup>进行 RE 测试结果的变异系数比 Daniels<sup>[18]</sup>的测试结果略微低一点, 而比 Morgan DW<sup>[10]</sup>的研究结果又略微高了点, 这可能是由研究对象的不同造成的, Williams T J<sup>[17]</sup>选择的是一般水平的受试者, 而 Morgan<sup>[10]</sup>的研究对象是同质性比较高的高水平跑步选手, 另外, Williams<sup>[17]</sup>进行 20 次的测试, Morgan<sup>[10]</sup>只进行了 2 次测试。测量间隔时间也是影响 RE 测量结果可靠性的主要因素, Daniels 重复测试的时间为 7 个月, Williams T J<sup>[17]</sup>重复测试时间为 4 周, Morgan DW<sup>[10]</sup>是在 2 d 进行重复测量。本研究选择同一天上午和下午进行研究, 研究结论基本和前人的观点一致, 即 RE 重测信度比较高。

Brisswalter<sup>[19]</sup>研究得出的重复测量的 RE 差异不具有显著性, 本研究结果与前人的研究结论一致<sup>[10, 17-18, 20-22]</sup>, 对于一般受试者或者高水平跑步者, RE 测量稳定性比较好。然而, 与前人的研究进行比较时应该注意到, 一方面, 大部分的研究选择的是一般水平的跑步者<sup>[17-18, 20]</sup>; 另一方面, 训练对跑步的能量消耗有影响<sup>[23-25]</sup>。本研究选择的对象为学生运动员, 专项为定向越野和中长跑, 主要是为了探讨 RE 测量的稳定性, 研究发现, 对于普通的学生运动员, 选择在同一天的上午和下午进行测试, RE 差异不具有显著性, 该观点与 Brisswalter 等人的研究基本一致。

RE 值的有效性取决于能量消耗与摄氧量一致<sup>[18, 26]</sup>, 即保证测量基本在有氧状态进行。本研究选择以 10 km/h 的测试速度在跑台上跑 5 min 时间相当于学生运动员用大约 5 min 的时间跑一个 800 m, 在这样的强度下, 上午和下午测量的呼吸交换率分别为  $0.94 \pm 0.08$  和  $0.92 \pm 0.04$ , 上午和下午的心率分别为  $(165.44 \pm 11.87)$  次/min 和  $(163.27 \pm 14.75)$  次/min, 据此, 可以认为学生运动员并没有达到最大负荷强度, 能量代谢主要以有氧代谢为主, 在这样的速度下其摄氧量与能量消耗是一致的。

本研究发现, 下午测量的 RE 略微大于上午测量的 RE 值, 该测量结果可能归因于人体的生物节律。Reilly<sup>[27]</sup>通过计算后发现, 体温对静息摄氧量的影响只占到 37%。研究指出, 摄氧量的节律性也不能归因于促甲状腺激素, 因为当促甲状腺激素量达到峰值的时候, 摄氧量却处于低谷。Minors 与 Waterhouse<sup>[28]</sup>认为, 儿茶酚胺可能对摄氧量的节律性具有一定的影响, 因为, 代谢率的增加与儿茶酚胺的升高同时存在<sup>[29]</sup>, 同时, 儿茶酚胺可以促进肝糖原的生成, 刺激脂类分解, 提高血糖、乳酸、钾离子, 以及自由脂肪酸水平, 最终提高代谢率<sup>[29-31]</sup>。因此, 儿茶酚胺可能会对 RE 测量结果产生一定的影响, 未来可以继续关注这个问题。

RE 的存在并非偶然, 由于人体具有维持内环境稳定的自我调节能力, 所以 RE 的出现其实只是人体内稳态(homeostasis)机制的一种局部表现形式, 主要是由于人体摄氧量借助于内环境的稳定而实现的一种动态的稳定值, 人体控制自身的体内环境从而保持相对的稳定状态, 这是人类进化发展过程中形成的一种减少对外界条件依赖性的机制。RE 测量结果的稳定性也从一个侧面反映出人体在相对较短的时间内, 以相同的强度运动, 内环境具有保持相对稳定的能力。

本研究的创新之处在于选择同一天的上午和下午测量跑步经济性的重测信度, 研究发现, 上午和下午 RE 的重测信度比较高, RE 测量结果的稳定性说明人体内稳态在相同强度下运动的相对恒定。另外, 从研究结果也发现这样的现象, 即下午测量的 RE 相对值和绝对值均比上午的测量结果略微大点, 这种现象可能是由于儿茶酚胺对摄氧量的节律性产生影响造成的, 建议运动人体科学专家继续关注这个问题。

### 参考文献:

- [1] Conley D L, Krahenbuhl G S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1980, 12(5): 357-360.
- [2] Anderson T. Biomechanics and running economy[J]. *Sports Med*, 1996, 22(2): 76-89.
- [3] Conley D L, K G B L. Following steve scott: physiological changes accompanying training[J]. *Phys Sports Med*, 1984, 12: 103-106.
- [4] Morgan D W, Craib M. Physiological aspects of running economy[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1992, 24(4): 456-461.
- [5] Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, et al. Explosive-strength training improves 5-km running time

- by improving running economy and muscle power[J]. *J Appl Physiol*, 1999, 86(5): 1527-1533.
- [6] Lake M J, Cavanagh P R. Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1996, 28(7): 860-869.
- [7] Morgan D W, Martin P E, Krahenbuhl G S. Factors affecting running economy[J]. *Sports Med*, 1989, 7(5): 310-330.
- [8] Saunders P U, Pyne D B, Telford R D, et al. Factors affecting running economy in trained distance runners[J]. *Sports Med*, 2004, 34(7): 465-485.
- [9] Morgan D W, Craib M W, Krahenbuhl G S, et al. Daily variability in running economy among well-trained male and female distance runners[J]. *Res Q Exerc Sport*, 1994, 65(1): 72-77.
- [10] Morgan D W, Martin P E, Krahenbuhl G S, et al. Variability in running economy and mechanics among trained male runners[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1991, 23(3): 378-383.
- [11] Morgan D, Krahrbehl G, Woodall K, et al. Daily variability in running economy among well-trained runners[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1990, 22(2): S134.
- [12] Reilly T, Bambaiechi E. Methodological Issues in studies of rhythms in human performance[J]. *Biological Rhythm Research*, 2003, 34(4): 321-336.
- [13] Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance[J]. *Sports Med*, 1996, 21(4): 292-312.
- [14] Drust B, Waterhouse J, Atkinson G, et al. Circadian rhythms in sports performance--an update[J]. *Chronobiol Int*, 2005, 22(1): 21-44.
- [15] Sekir U, Yildiz Y, Hazneci B, et al. Reliability of a functional test battery evaluating functionality, proprioception, and strength in recreational athletes with functional ankle instability[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2008, 44(4): 407-415.
- [16] Bartko J J. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability[J]. *Psychol Rep*, 1966, 19(1): 3-11.
- [17] Williams T J, Krahenbuhl G S, Morgan D W. Daily variation in running economy of moderately trained male runners[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1991, 23(8): 944-948.
- [18] Daniels J, Scardina N, Hayes J, et al. Variations in  $VO_2$  submax during treadmill running[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1984, 16(2): 108.
- [19] Brisswalter J, Legros P. Daily stability in energy cost of running, respiratory parameters and stride rate among well-trained middle distance runners[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 1994, 15(5): 238-241.
- [20] Armstrong L E, Costill D L. Variability of respiration and metabolism: responses to submaximal cycling and running[J]. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1985, 56(2): 93-96.
- [21] Becque M D, Katch V, Marks C, et al. Reliability and within subject variability of VE,  $VO_2$ , heart rate and blood pressure during submaximum cycle ergometry[J]. *Int J Sports Med*, 1993, 14(4): 220-223.
- [22] Morgan D W, Baldini F D, Martin P E. Day-to-day stability in running economy and step length among well-trained male runners[J]. *Int Sports Med*, 1987, 8: 242.
- [23] Bailey S P, Pate R R. Feasibility of improving running economy[J]. *Sports Med*, 1991, 12(4): 228-236.
- [24] Morgan D W, Martin P E, Krahenbuhl G S. Factors affecting running economy[J]. *Sports Med*, 1989, 7(5): 310-330.
- [25] Saunders P U, Pyne D B, Telford R D, et al. Factors affecting running economy in trained distance runners[J]. *Sports Med*, 2004, 34(7): 465-485.
- [26] Williams K R, Cavanagh P R. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance[J]. *J Appl Physiol*, 1987, 63(3): 1236-1245.
- [27] Reilly T. Human circadian rhythms and exercise[J]. *Crit Rev Biomed Eng*, 1990, 18(3): 165-180.
- [28] Minors D S, Waterhouse J M. Circadian rhythms and the human[M]. London: John Wright, 1981.
- [29] Harrison T S, Seaton J F, Feller I. Relationship of increased oxygen consumption to catecholamine excretion in thermal burns[J]. *Ann Surg*, 1967, 165(2): 169-172.
- [30] Young J B, Landsberg L. Catecholamines and intermediary metabolism[J]. *Clin Endocrinol Metab*, 1977, 6(3): 599-631.
- [31] Chioloro R, Flatt J P, Revelly J P, et al. Effects of catecholamines on oxygen consumption and oxygen delivery in critically ill patients[J]. *Chest*, 1991, 100(6): 1676-1684.