

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.07.022 [http://www.crter.org]

王国军, 温含, 武雅琼. 跑节省化、最大摄氧量评价普通人有氧耐力的效果比较[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(7):1265-1272.

## 跑节省化、最大摄氧量评价普通人有氧耐力的效果比较\*\*☆

王国军<sup>1,2</sup>, 温含<sup>3</sup>, 武雅琼<sup>4</sup>

1 上海体育学院运动人体科学学院, 上海市 200438

2 湖南人文科技学院体育系, 湖南省娄底市 417000

3 秦皇岛水运卫生学校, 河北省秦皇岛市 066000

4 安徽省芜湖市国防教育学校, 安徽省芜湖市 241009

### 文章亮点:

1 国外研究已证实, 跑节省化在表达运动员耐力水平上具有重要意义, 但在评价普通人耐力方面, 跑节省化、最大摄氧量的有效性和准确性仍未确定。

2 实验结果证实, 跑节省化在普通人群中表达有氧耐力优于最大摄氧量。最大摄氧量、台阶试验、室外800 m/1 000 m跑等方法在表达普通人有氧水平时因各自原因存在一定的局限性, 而跑节省化简单易行、可靠性高, 在国民体质评价中具有明显优势。

### 关键词:

组织构建; 组织构建基础实验; 最大摄氧量; 跑节省化; 耐力; 国民体质; 台阶试验; 800 m 耐力跑; 1 000 m 耐力跑; 普通人; 心肺功能; 体质评价; 省级基金

### 摘要

**背景:** 尽管跑节省化、最大摄氧量在评价竞技运动员耐力上的差异已有定论, 但有关普通人耐力水平的评价效果至今少有研究。

**目的:** 比较跑节省化与最大摄氧量在评价普通人群有氧耐力水平的效果。

**方法:** 以63名入伍新兵为测试对象, 测定其最大摄氧量、跑节省化和5 km跑成绩。最大摄氧量和跑节省化的测定采用逐级递增负荷运动方式在室内跑台上进行, 坡度为0°。最大摄氧量的测定由8.5 km/h的速度逐渐递增, 直至力竭, 满足最大摄氧量判定标准为止; 跑节省化的测定由8.5 km/h的速度增至11.5 km/h并持续稳定3 min, 计算最后2 min摄氧量的均值作为跑节省化值。采用Pearson积差相关法分析比较5 km成绩同最大摄氧量、跑节省化之间的关系。

**结果与结论:** 当跑节省化采用相对值表示时, 5 km成绩与跑节省化值高度正相关( $r=0.797$ ,  $P=0.000$ ), 而与最大摄氧量呈低度负相关( $r=-0.317$ ,  $P=0.056$ )。另外, 当前国民体质监测中常使用的台阶试验、室外800 m/1 000 m跑等方法受到各种因素制约。结果证实, 跑节省化在评价普通人群中表达有氧耐力上优于最大摄氧量, 简单易行、可靠性高, 在国民体质评价中具有明显优势。

## Running economy versus maximal oxygen uptake to evaluate the endurance level of ordinary people

Wang Guo-jun<sup>1,2</sup>, Wen Han<sup>3</sup>, Wu Ya-qiong<sup>4</sup>

1 Department of Sport and Exercise Science, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China

2 Department of Physical Education, Hunan Institute of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, Hunan Province, China

3 Qinhuangdao Water Transportation Health School, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China

4 Wuhu National Defense Education School, Wuhu 241009, Anhui Province, China

第一作者并通讯作者: 王国军, 男, 1981年生, 侗族, 湖北省恩施市人, 讲师, 上海体育学院在读博士, 主要从事人体体质与运动能力的健康适应研究。  
wgj\_1213@yahoo.com.cn

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 2095-4344  
(2013)07-01265-08

收稿日期: 2012-10-31  
修回日期: 2012-11-21  
(20120920003/WJ·W)

Wang Guo-jun☆, Studying for doctorate, Lecturer, Department of Sport and Exercise Science, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; Department of Physical Education, Hunan Institute of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, Hunan Province, China

Corresponding author: Wang Guo-jun, Department of Sport and Exercise Science, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; Department of Physical Education, Hunan Institute of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, Hunan Province, China  
wgj\_1213@yahoo.com.cn

Supported by: 2010 Innovation Action Plan Projects of Shanghai Science Committee, No. 10490503500\*; the Science and Technology Program of Hunan Provincial Educational Bureau, No. 09C556\*

Received: 2012-10-31  
Accepted: 2012-11-21

## Abstract

**BACKGROUND:** Although the difference between running economy and in evaluating the endurance level of competitive athletes is conclusive, little research has been done on their evaluation effect in ordinary people.

**OBJECTIVE:** To compare the effects of running economy and maximal oxygen uptake in evaluating the aerobic endurance level of ordinary people.

**METHODS:** Totally 63 recruits (strictly screened to ensure that the objects meet the level of ordinary people) were enrolled as the study objects, and 5 km performance was tested. The maximal oxygen uptake and running economy were tested on indoor treadmill in an incremental load exercise mode, with the gradient as 0. As to maximal oxygen uptake test, the speed was increased gradually from 8.5 km/h until the objects were exhausted and the maximal oxygen uptake criterion was met; as to running economy test, the speed was increased from 8.5 km/h to 11.5 km/h, then the speed of 11.5 km/h was kept for 3 minutes, and the mean value of the oxygen uptake in the last 2 minutes was calculated as the running economy value. The relationship of 5 km performance to maximal oxygen uptake and running economy was analyzed and compared by Pearson correlation during statistics.

**RESULTS AND CONCLUSION:** There was a high-positive correlation between 5 km performance and the running economy relative value ( $r=0.797$ ,  $P=0.000$ ) and a low-negative correlation between 5 km performance and maximal oxygen uptake ( $r=-0.317$ ,  $P=0.056$ ). Besides, as step test and outdoor 800-meter or 1 000-meter running commonly used in national physique monitoring are restrained by various factors, undoubted, simple, reliable and practical RE provides a new way for accurate evaluation of national physique.

**Key Words:** tissue construction; basic experiments in tissue construction; maximal oxygen uptake; running economy; endurance; national physique; step test; 800-meter running; 1 000-meter running; ordinary people; cardiopulmonary function; physical evaluation; provincial grants-supported paper

Wang GJ, Wen H, Wu YQ. Running economy versus maximal oxygen uptake to evaluate the endurance level of ordinary people. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2013;17(7): 1265-1272.

## 0 引言

经典研究业已证实,最大摄氧量与耐力项目的运动成绩密切相关,因此,运动生理学家长期以来把最大摄氧量作为衡量心肺功能和氧利用能力的首要指标。但自20世纪80年代初期以来,越来越多的实验结果和运动实践中的现象对最大摄氧量表达杰出耐力的权威性提出了置疑<sup>[1-2]</sup>。Sjodin等<sup>[3]</sup>于1985年发现,马拉松成绩相接近运动员的最大摄氧量与运动成绩相关性不高。Krahenbuhl等<sup>[4]</sup>在1992年对约9 000名少儿的研究表明,随着年龄增长,最大摄氧量相对值基本上保持稳定不变,但成绩却不断地提高。由此,20世纪80年代末期至今,国际上已将表达杰出耐力表型的关注点转移到跑节省化。

跑节省化是在给定的一个亚极限跑速下处于稳定状态时的摄氧量<sup>[5-6]</sup>。过去多项研究结论显示,竞技体育领域中,跑节省化与中长跑成绩呈显著相关,而最大摄氧量在表达耐力水平时有限,如Thomas等<sup>[7]</sup>的研究以2位10 km国际健将为研究对象,在其实验室所测得的数据描述出来后发现:两位长跑运动员拥有相似的最大摄氧量,拥有更高效率的运动员(即更好的跑节省化)比另一位相对较低的运动员的10 km成绩要快1 min。有研究结果显示:在拥有接近的最大摄氧量杰出或接近杰出级别的长跑运动员,跑节省化比最大摄氧量能更好的预测运动成绩<sup>[8-9]</sup>。迄今为止,中国一些学者针对跑节省化在耐力表达水平、跑节省化是否具有可塑性、跑节省化相关生物力学因素以及跑节省化在表达训练效果上也做了一定的研究,这些结果均表明跑节省化是目前公认的描述亚极限强度运动时氧利用能力的理想指标<sup>[10-11]</sup>。如中国学者席翼等<sup>[12]</sup>的研究结论得出:在表达人体有氧耐力时,跑节省化的贡献率相对最大摄氧量来更高,且在同一训练结果中,跑节省化的可塑性更加明显。冷志勇等<sup>[13]</sup>以43名新兵为实验对象进行为期10周的训练,结果发现:跑节省化在评价耐力训练效果时,比最大摄氧量敏感性更明显。总结过去有关跑节省化与最大摄氧量在评价人体耐力水平的研究时,结果表现为:中长跑成绩与跑节省化相关度从 $r=0.36$ 到 $r=0.83$ ,与最大摄氧量的相关度则从 $r=-0.12$ 到 $r=$

-0.82<sup>[1, 14]</sup>, 显然, 仍存有一定争议, 这些研究结果的出现与生理学家长期以来将最大摄氧量作为经典耐力指标并不统一。但过去的大多数研究的实验对象为运动员, 样本量有限, 又鉴于最大摄氧量实验条件的苛刻和实验过程的安全性, 限制了其在国民体质评价中的广泛应用。那么, 在评价普通人耐力方面, 究竟跑节省化、最大摄氧量的有效性和准确性如何? 跑节省化能否成为反应普通人群的耐力水平的重要评价指标?

鉴于此, 实验旨在通过测试63名未经训练的新兵的跑节省化、最大摄氧量及5 km成绩, 进行积差相关分析, 以进一步比较跑节省化、最大摄氧量在评价人体耐力水平效果, 并判断跑节省化能否作为普通人群有氧水平的指标, 为未来跑节省化在国民体质以及运动训练等领域的应用提供佐证。

## 1 对象和方法

**设计:** 运动医学实验。

**时间及地点:** 实验于2007年3至9月在天津体育学院综合实验室完成。

**对象:** 选取63名来自武警某部队新兵营(已初步掌握跑步技巧)的士兵为受试者, 年龄(19.2±1.4)岁, 身高(172.9±5.7) cm, 体质量(65.2±9.2) kg。

研究对象均知晓实验目的和内容, 测定其最大摄氧量、跑节省化和5 km跑成绩。

**纳入标准:** ①符合普通人群标准, 所谓普通人群指自然人群。②考虑到跑步技术会影响运动成绩, 因此需确定受试者已初步掌握跑步技巧。

**排除标准:** ①来自山区或高海拔地区的、或从事过专门体能训练的、或长期从事体力劳动的士兵以保证受试者属于普通人群。②后天因生活或者专业训练等导致其体能增长者。

**材料:**

有氧耐力实验用主要仪器:

Main materials and instrument for an aerobic endurance experiment:

仪器	来源
活动跑台	ERICH JAEGER Treadmill E6, 德国
气体分析仪	JAEGER Oxygen Analyzer, 德国
计时秒表	君斯达(ULTRAK DT480), 中国深圳
身高坐高仪	恒奥德(JJY-444002), 中国北京
体质量计	TZCS-4 电子台式型, 中国宁波

**实验方法:**

**5 km跑测试:** 严格按照田径测试方法在400 m标准塑胶跑道上进行5 km跑测试。测试前48 h内不参加任何大负荷运动。测试中, 由连长以及士官亲自督促, 并且给予相同的口头鼓励。2周内共测试3次, 取最好一次成绩作为5 km跑成绩, 记录时单位为min, 保留一位小数。

**最大摄氧量测试:** 采用逐级递增负荷运动方式在室内跑台上进行最大摄氧量测定。具体过程为: 测试前2 min内将跑台速度增至4 km/h, 坡度为0°, 以保证受试者尽可能地走起来。第4分钟时将跑速增至8.5 km/h, 之后以1 km/min的速度递增, 直至速度到13.5 km/h。此时, 以1 (°)/min的速度增加跑台坡度, 且不时通过主观感觉评分表询问受试者主观感觉。主观感觉评分表共分9级<sup>[15]</sup>, 其中, 6级及以下“根本不费力”; 7-8级: “极其轻松”; 9级: “很轻松”; 10-12级: “轻松”; 12-14级: “有点困难”; 15-16: “困难”; 17-18级: “非常困难”; 19级: “极其困难”; 20级: “达到最大极限”。

最大摄氧量判断标准参照《运动生理学》<sup>[16]</sup>, 即满足以下4种条件的任意3种即认为达到最大摄氧量标准: ①摄氧量不随负荷的增加而上升, 且运动员达到力竭; ②摄氧量的变化幅度不超过5%或150 mL/min或2 mL/(kg·min)。③呼吸商>1.1。④心率>180次/min。

**跑节省化测试:** 所使用的仪器与最大摄氧量测试相同。跑台坡度设定为0°, 启动跑台, 1 min内使受试者走动起来, 到第2分钟时跑速增加到8.5 km/h, 第3分钟时将跑台速度增加到11.5 km/h<sup>[17-18]</sup>, 以此速度持续3 min。跑过程中给予所有受试者相同的口头鼓励。计算最后2 min摄氧量的均值作为跑节省化值<sup>[19]</sup>。处于稳定状态的标准是: 呼吸商≤0.95、每分钟最大摄氧量差值不超过100 mL<sup>[20]</sup>。

**主要观察指标:** 最大摄氧量绝对值和相对值、跑节省化绝对值和相对值、跑节省化与最大摄氧量比值。

**统计学分析:** 实验数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 所有数据采用SPSS 11.5 for Windows统计学软件处理。采用积差相关法判断最大摄氧量、跑节省化与5 km跑成绩的相关性,  $r=0.3-0.5$ 为低度相关,  $r=0.5-0.7$ 为中度相关,  $r=0.7$ 及以上为高度相关,  $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

## 2 结果

**2.1 受试者数量分析** 共纳入受试者63名, 均进入分析结果, 无脱失值。

2.2 受试者跑节省化、最大摄氧量与5 km测试结果  
受试者的最大摄氧量、5 km成绩与普通人水平相当<sup>[16]</sup>。  
证明受试者的水平能有效代表普通人。见表1。

表1 受试者跑节省化、最大摄氧量与5 km 测试结果

Table 1 Running economy, maximal oxygen uptake and 5 km test results (n=63)

项目		$\bar{x} \pm s$
最大摄氧量	最大摄氧量绝对值(L/min)	3.8±0.4
	最大摄氧量相对值[mL/(kg·min)]	57.8±3.8
跑节省化	跑节省化绝对值(L/min)	2.6±0.3
	跑节省化相对值[mL/(kg·min)]	38.8±2.6
	跑节省化与最大摄氧量比值(%)	67.0±5.0
5 km 成绩(min)		22.2±3.1

注：受试者的最大摄氧量、5 km 成绩与普通人相关指标水平相当<sup>[16]</sup>。

2.3 受试者最大摄氧量、跑节省化各指标与5 km运动成绩积差相关分析结果 见图1，表2。

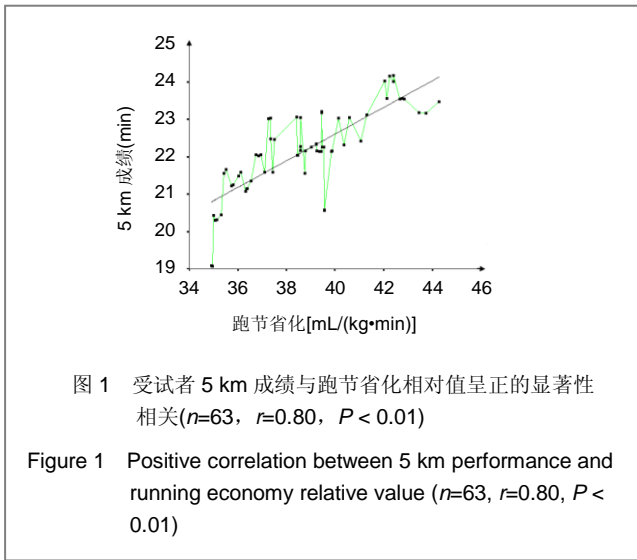


表2 受试者最大摄氧量、跑节省化各指标与5 km 运动成绩积差相关分析结果

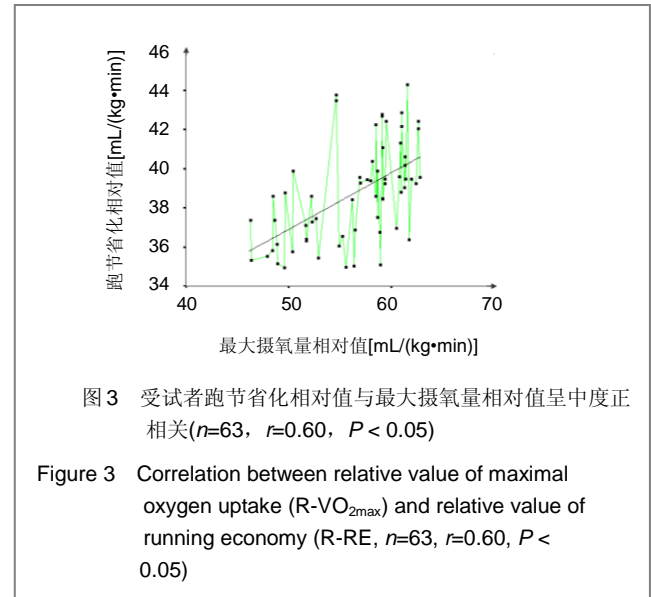
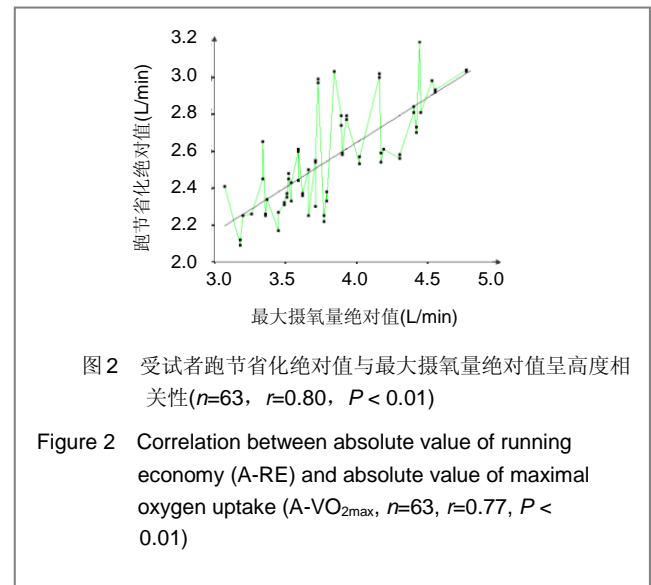
Table 2 Product moment correlation analysis results of running economy indexes and maximal oxygen uptake and 5 km sports performance (n=63)

指标	最大摄氧量		跑节省化		
	最大摄氧量绝对值	最大摄氧量相对值	跑节省化绝对值	跑节省化相对值	跑节省化与最大摄氧量比值
r	-0.32	-0.32	0.32	0.80 <sup>b</sup>	0.41 <sup>a</sup>
P	0.85	0.06	0.05	0.00	0.01

注：跑节省化的相对值与5 km 成绩呈显著性正相关<sup>(b)</sup>(P < 0.01)，跑节省化与最大摄氧量比值呈低度正相关<sup>(a)</sup>(P < 0.05)。

受试者最大摄氧量相对值与5 km成绩呈负的低度相关(r=-0.32, P > 0.05)，而跑节省化的相对值与5 km成绩呈正的显著性相关(r=0.80, P < 0.01)，跑节省化与最大摄氧量的比值，即跑节省化与最大摄氧量比值呈低度相关(r=0.41, P < 0.05)。

2.4 受试者跑节省化与最大摄氧量之间的关系 受试者最大摄氧量绝对值与最大摄氧量相对值低度相关(r=0.39, P < 0.05)，与跑节省化绝对值高度相关(r=0.77, P < 0.01)；与跑节省化与最大摄氧量比值低度相关(r=0.38, P < 0.05)；最大摄氧量相对值与跑节省化相对值中度相关(r=0.60, P < 0.05)；与跑节省化与最大摄氧量比值呈负中度相关(r=-0.58, P < 0.01)；跑节省化相对值与跑节省化与最大摄氧量比值呈中度相关(r=0.51, P < 0.01)，见图2-5，表3。



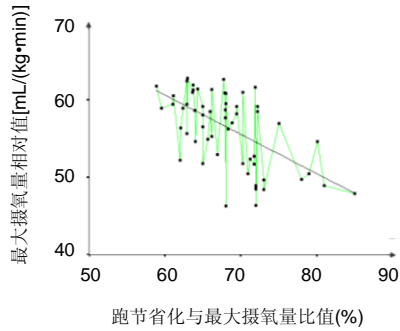


图4 受试者跑节省化与最大摄氧量比值与最大摄氧量相对值呈负中度相关( $n=63, r=-0.58, P < 0.01$ )

Figure 4 Correlation between relative value of maximal oxygen uptake (R- $VO_{2max}$ ) and ratio of running economy to maximal oxygen uptake (C-RE) ( $n=63, r=-0.58, P < 0.01$ )

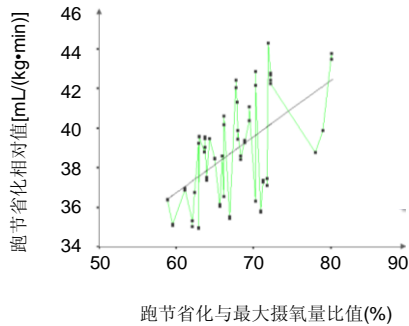


图5 受试者跑节省化相对值与跑节省化与最大摄氧量比值呈中度正相关( $n=63, r=0.51, P < 0.01$ )

Figure 5 Correlation between the ratios of running economy to maximal oxygen uptake (C-RE) and relative value of running economy (R-RE) ( $n=63, r=0.51, P < 0.01$ )

表3 受试者跑节省化与最大摄氧量之间的关系统计结果

Table 3 Statistic results of the relation between running economy and maximal oxygen uptake ( $n=63$ )

指标	最大摄氧量 相对值	跑节省化 绝对值	跑节省化 相对值	跑节省化与最大 摄氧量比值
最大摄氧 量绝对值	$r = 0.39^a$ $P = 0.02$	$0.77^c$ $0.00$	$-0.03$ $0.00$	$0.38^a$ $0.02$
最大摄氧量 相对值		$0.01$ $0.96$	$0.60^a$ $0.03$	$-0.58^b$ $0.00$
跑节省化 绝对值			$0.32$ $0.05$	$0.29$ $0.08$
跑节省化 相对值				$0.51^b$ $0.00$

注: 采用积差相关法进行相关性分析,  $r=0.3-0.5$  为低度相关(a),  $r=0.5-0.7$  为中度相关(b),  $r=0.7$  及以上为高度相关(c)。

### 3 讨论

3.1 最大摄氧量、跑节省化在表达有氧耐力水平的比较分析 本文结果表明, 5 km成绩与跑节省化的相对值高度正相关, 而与最大摄氧量呈低度负相关。有研究显示: 跑节省化与10 km成绩高度显著相关; 而最大摄氧量与成绩不显著相关<sup>[14]</sup>。

Morgan等<sup>[21-22]</sup>的研究表明跑节省化比起最大摄氧量来, 更是一项与长跑成绩相关的指标。东非国家在长跑领域一直处于世界领先地位, 尤其肯尼亚人。学者们在研究其获得成功的原因时, 通过大量数据得出结论: 很大程度上, 东非长跑运动员的成功要归因于他们拥有更好的跑节省化。而东非杰出运动员之间比较时, 其他条件几乎一致(身高、体质量指数、最大摄氧量等)情况下, 最终对胜出成员获得成功的原因解释时归因于跑节省化而不是最大摄氧量的增长<sup>[23]</sup>。甚至有研究直接强调跑节省化在竞技领域的重要性<sup>[24]</sup>, Ziogas等<sup>[2]</sup>的对足球体能的研究指出: 长期以来, 最大摄氧量一直被视为不同等级的足球运动员生理性差异的指标。但是, 其研究结果发现跑节省化更能区别其间的能力, 其认为当比赛前期测试杰出足球运动员时, VT和跑节省化必须与最大摄氧量一起考虑。过去的研究因为对象是运动员, 甚至高水平运动员, 因此, 实验对象较少<sup>[25-26]</sup>, 为进一步证实造成这种结果是由于抽样误差还是组间误差造成。为此, 实验特别选择了大样本量进行探讨, 结果再次表明: 跑节省化在评价人体耐力水平时较最大摄氧量更有优势。另一现象也对上述结论给出了合理的佐证。过去一直认为, 最大摄氧量水平的高低在很大程度上决定着耐力项目的运动成绩。然而半个多世纪前2英里长跑世界记录保持者Don Lash的最大摄氧量就已经达到82 mL/(kg·min), 从那时起, 世界耐力项目的运动成绩已有大幅度的提高, 而长跑运动员的最大摄氧量却增加不多, 与当今世界长跑记录保持者的最大摄氧量的86 mL/(kg·min)形成明显的反差, 显然, 这之前始终坚持认为最大摄氧量是评价有氧耐力的经典指标的观点有一定的矛盾。

跑节省化在表达运动员长跑耐力水平时效果更佳, 而导致这种现象可能的原因有多种, 基本上认为: 形态、呼吸循环系统、神经系统、训练及生物力学因素等与跑节省化有关<sup>[21-22]</sup>。肯尼亚突出的长跑成绩引起世人关

注, 针对其跑节省化占有优势的原因进行解析, 结果发现: 肯尼亚长跑运动员拥有更好的跑节省化大部分原因在于其低体质量值和他们修长且低脂的四肢, 这就使得他们在跑步过程中摆动的四肢消耗最小的能量<sup>[23]</sup>。研究结果表明: 高海拔的环境适应能提高 $O_2$ 的运输和利用, 直接导致受试者在给定一个速度下摄氧量的减少, 即跑节省化的提高。跑节省化提高的另一潜在机制在于消耗每摩尔的 $O_2$ 过程中的ATP数量的增加, 这样导致了在给定的速度下跑步时ATP能量增加<sup>[27]</sup>。训练因素是提高跑节省化常采用的有效途径。已有报道证实: 负重抗阻训练(如全蹲)可以提高高水平运动员耐力水平, 且跑节省化有明显提高但不伴随最大摄氧量的提高<sup>[28]</sup>。最近的一项科研工作表明, 抗体质量训练和耐力训练联合训练法也能提高三项全能运动员跑的成绩, 改善跑节省化<sup>[29]</sup>。Saunders等<sup>[30]</sup>对影响跑节省化的生物力学因素归纳和总结时对此现象也做了合理的解释。

在为数不多的针对普通人群的跑节省化与耐力水平相关的研究中, 结果与实验结论基本一致, 即跑节省化与中长跑耐力水平相关度要高于最大摄氧量, 最大摄氧量不能很好的反映中长跑水平, 跑节省化可以作为普通人耐力水平评价指标。Larsen等<sup>[31]</sup>对没有参加过训练来自东非南迪地区(Nandi)的肯尼亚男孩与同样没有训练过的同龄丹麦人相比, 结果发现, 前者的跑节省化要好的多。Allor等<sup>[32]</sup>以未受过专业训练的青春少女和女青年为研究对象, 结果发现他们的最大摄氧量相似, 耐力水平却远低于女青年, 最终的解释归因于跑节省化的差异, Krahenbuhl等<sup>[33-34]</sup>的研究得出类似结论。针对这一现象, 诸多学者分析了产生这种现象的原因, 其中有研究者在研究最大摄氧量与长跑之间关系的实验结果也显示相关度并不高<sup>[35]</sup>, 其结论为: 最大摄氧量在表达长跑耐力水平上是一个重要指标但不是决定性指标, 其原因为最大摄氧量对运动能力的重要性有赖于个体训练程度, 对无训练者来说, 在动用到最大摄氧量之前, 已有其他因素使受试者达到疲劳, 无法表达其极限能力。另外产生这种现象的原因可能是在长距离跑的过程中, 跑节省化属于亚极限负荷, 协调而放松的小步幅和快频率节奏跑技术既节省化又能减少正常速度跑时的氧耗, 并能更好的利用肌肉的弹性能量, 减少跑步时的速度损失, 从而更有效地利用所获得的能量来源, 结果在表达长跑耐力水平时更准确。表2还显示: 跑节省化相对值, 即跑节省化相对值与5 km成绩高度相关, 而跑节省化绝对值, 即跑节省化绝对值, 其相关度并不高,

而究其原因, 造成绝对值与相对值存在差别仅在于跑节省化相对值是单位体质量而跑节省化绝对值没有考虑体质量因素。已有研究证实: 动物运动中的氧耗并不与体质量成比例增加。而已有的另一个事实证实: 儿童每千克体质量的摄氧量要高于成人<sup>[36]</sup>。Sjodin等<sup>[37]</sup>通过观察处于青春发育期的男性青少年并提出要提高与跑节省化相关的体质量的测量, 并要求在很大程度上要更多地注重每千克体质量的摄氧量。这些研究结果提示: 采用 $mL/(kg \cdot min)$ 表示时, 有利于对不同体质量的个体之间进行横向比较以及个体自身的纵向比较。

**3.2 最大摄氧量与跑节省化相互关系分析** 由研究结果可知: 最大摄氧量绝对值与跑节省化绝对值、最大摄氧量相对值与跑节省化相对值中度相关。这与其它报道相一致<sup>[14]</sup>, 提示最大摄氧量和跑节省化在某种程度上均反映了人体的有氧能力水平, 这与他们在实际中的意义即他们都是有氧耐力指标是一致的。这些研究并未完全否认最大摄氧量在描述人体耐力水平的作用, 而只是随着近些年对跑节省化研究的逐渐深入, 认为跑节省化将是一个更好地描述人体耐力水平的指标<sup>[38-39]</sup>。最大摄氧量绝对值与最大摄氧量相对值、最大摄氧量相对值与跑节省化绝对值、跑节省化相对值与跑节省化绝对值各对之间的相关度都很低, 每对指标之间最大不同之处在于是否考虑每千克体质量, 这提示: 影响其之间关系的主要是体质量因素, 上述已经论证, 应采用相对值, 即 $mL/(kg \cdot min)$ 表示时更为准确, 这进一步提示, 测试时使用相对值可以更加准确地比较个体之间的差异。跑节省化与最大摄氧量的比值与最大摄氧量相对值、跑节省化相对值分别呈中度相关, 很易发现一个有趣的现象, 即跑节省化与最大摄氧量比值只与最大摄氧量和跑节省化的相对值之间相关, 而与绝对值之间不相关或者低度相关, 原因尚不明确。

**3.3 实验结果在普通人群中的应用前景分析** 最大摄氧量的测试受到诸多因素的影响而受限<sup>[40]</sup>。最大摄氧量虽是评价耐力的实验室经典指标, 但其极限运动的特性和测试成本(仪器、消耗品和时间)昂贵使其不具备体质评价的可行性, 且儿童青少年因为心肺功能尚未发育完全, 而老年人以及体弱多病者往往因为其心肺功能的衰老或疾病等其他原因而受到极大限制, 从而很难准确、有效地测出其最大摄氧量。对无训练者来说, 最大摄氧量并不是运动能力的决定因素, 在动用到最大摄氧量之前, 已有其它因素使受试者达到疲劳, 无法继续完成运



动程序。有研究以6名男性儿童为研究对象, 对受试者在9.9岁的时候进行跑节省化测试, 然后每年测试1次, 持续到16.8岁, 为了避免训练的干扰, 要求受试者不参加任何专业性训练, 结果发现长达7年之后, 这些少年运动成绩明显增长, 而最大摄氧量相对值仍保持稳定, 这种变化归因于更好的跑节省化<sup>[33]</sup>。另外, 最大摄氧量还受遗传因素影响较大, 可塑性较小, 有研究指出, 遗传因素达到85%<sup>[16]</sup>, 而跑节省化可塑性高。后期的研究也证实了该结论。冷志勇等<sup>[13]</sup>以43名新兵为实验对象进行为期10周的训练, 结果发现: 跑节省化在评价耐力训练效果时, 比最大摄氧量敏感性更明显。Moore等<sup>[41]</sup>以10名女性跑步初学者为实验对象进行为期10周的训练, 结果表明: 训练前后最大摄氧量没有发生显著性改变, 而跑节省化发生显著提高, 且对解释跑节省化发生改变3个动力学参量分析发现, 也各自发生了一定程度的变化。

因此, 实验结果表明, 跑节省化在普通人群中表达有氧耐力水平上优于最大摄氧量, 且采用相对值表示[即mL/(kg·min)]。最大摄氧量、台阶试验、室外800 m/1 000 m等方法在表达普通人有氧水平时因各自原因存在一定的局限性, 而鉴于跑节省化指标简单易行、可靠、且可塑性高等优势特点, 提示运动训练和全民健身中, 应考虑引入跑节省化作为有氧耐力的评价指标。

**基金资助:** 上海市科学技术委员会 2010“创新行动计划”专项项目(10490503500); 湖南省教育厅科研项目(09C556)。

**作者贡献:** 第一作者进行实验设计, 实验对象的联系和筛选; 所有作者参与实验实施; 实验评估为第三作者; 资料收集为第一、三作者; 第一作者成文, 第二作者审校, 第一作者对文章负责。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**伦理要求:** 实验前作者开大会做了认真的宣传, 以保证受试者对实验程序、可能的风险性等有足够的知情权, 并获得研究对象的同意。

**作者声明:** 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

#### 4 参考文献

[1] Wilber RL, Pitsiladis YP. Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good? *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7(2):92-102.

- [2] Ziogas GG, Patras KN, Stergiou N, et al. Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):414-419.
- [3] Sjodin B, Svedenhag J. Applied physiology of marathon running. *Sports Med.* 1985;2(2):83-99.
- [4] Krahenbuhl GS, Williams TJ. Running economy: changes with age during childhood and adolescence. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(4):462-466.
- [5] Daniels J. Physiological characteristics of champion male athletes. *Res Q.* 1974;45(4):342-348.
- [6] di Prampero PE, Salvadeo D, Fusi S, et al. A simple method for assessing the energy cost of running during incremental tests. *J Appl Physiol.* 2009;107(4):1068-1075.
- [7] Thomas DQ, Fernhall BO, Granat H. Changes in running economy during a 5-km run in trained men and women runners. *JSCR.* 1999;13(2):162-167.
- [8] Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, et al. Ten kilometer performance and predicted velocity at  $VO_{2max}$  among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(1):78-83.
- [9] Beis LY, Polyviou T, Malkova D, et al. The effects of creatine and glycerol hyperhydration on running economy in well trained endurance runners. *J Int Soc Sports Nutr.* 2011; 8(1):24.
- [10] Xi Y, Wang GJ, Wen L, et al. *Zhongguo Yundong Yixue Zhazhi.* 2007;(1):39-44.  
席翼, 王国军, 文立, 等. 5000米跑耐力训练对新兵有氧耐力及左心室结构和功能的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2007,(1):39-44.
- [11] Ren ZB. *Tiyu Kexue.* 2010,30(1):86-96.  
任占兵. 影响跑步经济性的人体下肢肌肉做功研究[J]. *体育科学*, 2010,30(1):86-96.
- [12] Xi Y, Zhang DB, Wang GJ, et al. *Zhongguo Yundong Yixue Zhazhi.* 2008;27(1):15-19.  
席翼, 张得保, 王国军, 等. 跑节省化评价有氧耐力及其训练效果实验研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2008,27(1):15-19.
- [13] Leng ZY, Yu LZ, Wang GJ, et al. 2008;24(1):47-49.  
冷志勇, 于林竹, 王国军, 等. 跑节省化(RE)和最大摄氧量评价耐力训练效果的比较研究[J]. *山东体育学院学报*, 2008,24(1):47-49.
- [14] Conley D L, Krahenbuhl G S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(5):357-360.
- [15] Zhang L. *Wuhan Tiyu Xueyuan Xuebao.* 1995;29(1):41245.  
张立. 一种简易监测运动强度和评定运动能力的方法RPE等级值[J]. *武汉体育学院学报*, 1995,29(1):41-45.
- [16] Quanguo Tiyu Yuanxiao Jiaocai Weiyuanhui. Beijing: People Sports Press. 2002.  
全国体育院校教材委员会. *运动生理学[M]*. 北京: 人民体育出版社, 2002.
- [17] Wang GJ, Xi Y, Wu YQ, et al. *Zhongguo Yundong Yixue Zhazhi.* 2012;31(10):887-891.  
王国军, 席翼, 武雅琼, 等. 我国18-23岁普通男性跑节省化测试跑速研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2012;31(10):887-891.
- [18] Fletcher JR, Esau SP, Macintosh BR. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol.* 2009;107(6):1918-1922.
- [19] Chen TC, Nosaka K, Lin M J, et al. Changes in running economy at different intensities following downhill running. *J Sports Sci.* 2009;27(11):1137-1144.

- [20] Wang GJ, Yang Q, Wen H, et al. Shandong Tiyu Xueyuan Xuebao. 2007;23(5):62-65.  
王国军,杨谦,温含,等.跑节省化(RE)实验方法及其影响因素的研究进展[J].山东体育学院学报,2007,23(5):62-65.
- [21] Morgan DW, Martin PE, Baldini FD, et al. Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(6):834-840.
- [22] Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, et al. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol.* 1999;86(5):1527-1533.
- [23] Lucia A, Esteve-Lanao J, Olivan J, et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2006;31(5): 530-540.
- [24] Bonacci J, Saunders PU, Alexander M, et al. Neuromuscular control and running economy is preserved in elite international triathletes after cycling. *Sports Biomech.* 2011; 10(1):59-71.
- [25] Szabo JA, Parr BB, Holt JA, et al. Effect of the E3 fitness grips on running economy. *Int J Exere Sci.* 2010;3(2):64-67.
- [26] Bragada A, Santos J, Maia A, et al. Longitudinal study in 3,000 m male runners: relationship between performance and selected physiological parameters. *J Sports Sci Med.* 2010; (9):439-444.
- [27] Green H, Ros B, Grant S, et al. Increases in submaximal cycling efficiency mediated by altitude acclimatization. *J Appl Phycol.* 2000;(89):1189-1197.
- [28] Ohnston R, Quinn T, Kerrtzer R, et al. Strength training in female distance runners:Impact on running economy. *J Strength Cond Res.* 1997;(11):224-229.
- [29] Marciniak E, Potts J, Schlabach G, et al. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exere.* 1991;(23):739-743.
- [30] Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, et al. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol.* 2004;96(3): 931-937.
- [31] Larsen H. Kenyan dominance in distance running. *Comb Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2003;(136):161-170.
- [32] Allor KM, Pivarnik JM, Sam LJ, et al. Treadmill economy in girls and women matched for height and weight. *J Appl Physiol.* 2000;89(2):512-516.
- [33] Krahenbuhl G, Morgan D, Pangrazi R. Longitudinal changes in distance-running performance of young males. *Int J Sports Med.* 1989;10(2):92-96.
- [34] Kloyiam S, Breen S, Jakeman P, et al. Soccer-specific endurance and running economy in soccer players with cerebral palsy. *Adapt Phys Activ Q.* 2011;28(4):354-367.
- [35] Morgan DW, Martin PE, Krahenbuhl GS. Factors affecting running economy. *Sports Med.* 1989;7(5):310-330.
- [36] Davies MJ, Mahar MT, Cunningham LN. Running economy: comparison of body mass adjustment methods. *Res Q Exerc Sport.* 1997;68(2):177-181.
- [37] Sjodin B, Svedenhag J. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(2):150-157.
- [38] Sawyer B, Blessinger J, Irving B, et al. Walking and running economy: inverse association with peak oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(11):2122-2127.
- [39] Helgerud J, Storen O, Hoff J. Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners?. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108(6):1099-1105.
- [40] Li R, Jiang CM, Cai R, et al. Tiyu Kexue. 2012;32(6):81-84.  
李然,江崇民,蔡睿,等.运动后恢复期心率对心功能的评价-台阶指数对不同年龄段人群心功能评价的局限性[J].体育科学,2012, 32(6):81-84.
- [41] Moore IS, Jones AM, Dixon S. Mechanisms for improved running economy in beginner runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(8):1125-1129.