

网球运动不同击球技术摄氧量和心率反应研究

袁 川, 陈恩格, 范江江

(四川师范大学 体育学院, 成都 610101)

摘 要: 目的: 为研究网球运动不同击球技术的摄氧量和心率变化特点, 为网球运动的发展、运动训练及其能量消耗的评估提供理论依据。方法: 利用间接测热仪器 (cosmedK4b2) 对 21 名受试者分别在低球速 (30 km/h)、高球速 (60 km/h) 各进行一次时常 2 分钟的原地正手击球、原地反手击球、侧向移动正手击球、侧向移动反手击球、上前正手击球 (只在低速进行)、上前反手击球 (只在低速进行)、侧向移动正反手交替击球, 对其 VO_2 和心率进行监测。结果: 结果显示 VO_2 值在 $25.8-37.4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 之间, HR 在 $83.6-157.2 \text{ 次/min}$ 之间; 结论: 在没有移动和向侧移动时, 正手击球的 VO_2 明显低于反手击球; 侧向移动击球的 VO_2 明显高于向前移动击球和侧向移动正反手交替击球; 高球速下击球比低球速下击球的 VO_2 更高。

关键词: 网球; 击球技术; 摄氧量; 心率

中图分类号: G845

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2016) 04-0083-06

1 问题的提出

网球运动是世界上最流行和广泛开展的体育项目之一, 但是对网球运动过程中不同击球技术的代谢反应和能量需求的研究却并不多见^[1]。了解网球运动不同击球技术的能量消耗对于科学指导运动健身以及推动项目发展具有重要意义。

有研究报道了运动员在不同球场地面 (草地、硬地) 进攻和防守有效运动的时间^[2-3], 却没有涉及能量消耗研究。有学者实验测试了心脏速率—摄氧量 (HR- VO_2) 关系^[4], 或通过间接测热法对网球比赛的摄氧量 (VO_2) 进行了评估与研究^[2,5]; 一些研究报告指出平均 VO_2 为在 $24-29 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ^[6]。可见, 到目前为止研究者们只是对没有任何干预的网球比赛所有活动中总的生理反应所体现出来的平均 VO_2 和心率 (HR) 进行了评估和研究。但网球运动的正手击球、反手击球、原地击球、侧向或者上前的移动击球, 以及不同来球速度或者旋转等, 都

会影响运动员的用力方式和能量消耗。近年来, 虽有学者比较了在球场上的反手和正手击球, 以及在不同地面跑动的耗氧量^[7], 但其运动方案对 VO_2 的解释是不清楚的; 还有学者对网球正手击球、反手击球的生物力学原理进行了探讨^[8-9], 但并没有对其能量消耗的特点进行研究。

因此, 为了进一步探析网球运动的代谢特征, 了解网球运动健身价值, 有必要对网球运动不同击球技术的 VO_2 和 HR 的特点进行研究, 为科学运动健身和网球运动训练提供理论基础。

2 对象与方法

2.1 研究对象

本实验选取 18—25 岁且有网球运动基础 (进行了专业网球训练一年以上) 的 21 名健康成年人 (以在校大学生为主) 为受试对象, 其中男性 16 名, 女性 5 名 (详情见表 1)。受试者被要求没有运动禁忌症, 身体健康。经受试者同意后在测试知情同意书上签字, 在测试正式开始前进

收稿日期: 2016-03-09

基金项目: 四川省科技厅项目“城市青少年体力活动建成环境测量关键技术研究”(2015ZR0214)

作者简介: 袁 川 (1993—), 男, 湖南株洲人, 在读硕士, 研究方向为体力活动测量与评价。

行培训,使其了解整个测试的注意事项和流程。

表1 受试者基本信息一览表

性别	n	年龄	身高/cm	体重/kg	BMI
男	16	21.5±1.5	175.5±4.9	68.5±6.8	20.9±5.3
女	5	21.6±1.9	165.6±4.8	57.2±5.5	20.8±1.0

表2 受试者网球训练信息一览表

网球练习时长/年	人数	%
1	12	57.1
2	6	28.6
3	2	9.5
4	1	4.8

2.2 研究方法

2.2.1 实验仪器和设备

本研究采用身高体重仪(恒康佳业 HK-6000)在正式测试之前对受试者的身高、体重进行测量。正式测试时让每个受试者佩戴便携式气体代谢分析仪(cosmedK4b2,简称K4b2)和Polar心率表对其 VO_2 和HR进行监测,K4b2是由意大利Metabolic公司生产的,让受试者佩戴呼吸面罩,通过内置的气体代谢装置分析受试者 VO_2 和HR的变化。在实验测试前的预热和校检、受试者的佩戴、实验操作者的检测等均严格按使用说明书进行。本研究采用斯波尔斯ss-8000网球发球机对网球落点、运行轨迹、球速进行控制。测试所用网球均为Teloon Rising球。

2.2.2 测试内容与方案

具体击球位置、移动方式、球落点及发球机摆放位置等见图1。

如图1所示,受试者以底线中心点O点为击球的准备位置和完成击球后的结束位置。A1为原地正手击球,B1为原地反手击球,受试者在击球过程中根据来球方向小碎步调整完成击球;A2、A3为向前和侧向移动正手击球,B2、B3为向前和侧向移动反手击球,要求受试者根据来球方向向前或侧向移动2—3米完成击球动作;C1为侧向移动正反手交替击球,要求受试者在落点1和落点2之间(距离为4—6米)来回移动完成击球。1、2、3、4、5、6分别是正手侧向移动击球、反手侧向移动击球、原地正手击球、原地反手击球、上前正手击球和上前反手击球落点位置,1、2、5、6距O点3米。受试

者所有反手击球均使用双手反手击球技术。A1、A3、B1、B3、C1方案分别在低球速(30 m/h)、高球速(60 km/h)各进行一次测试,A2、B2只在低球速(30 km/h)进行一次测试。发球机在中线上前后移动,以调节球落点,发球机的发球间隔设定为12 s,来球不带任何旋转。每个练习项目进行2分钟,间隔时间为1分钟。

受试者被要求在测试前1小时没有大量进食,且均有5分钟左右的热身与准备活动时间,身体和心理上无异常。在击球过程中要求其对于每个击球均匀用力,打出直线底线球,在球场对面底线与击球位置相对应的点摆上标志物,以方便受试者按实验方案完成击球。测试员对受试者每个练习阶段的击球个数进行记录。本研究的全部运动过程均在室内标准网球场地进行。

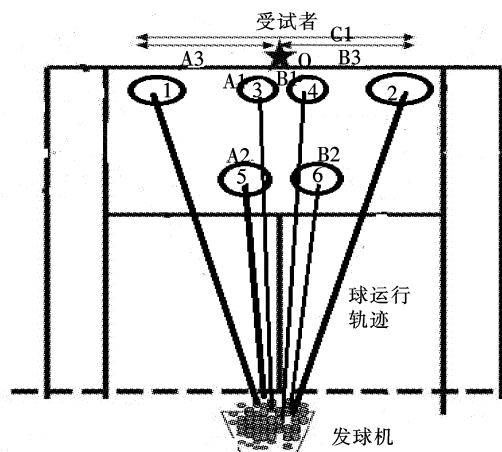


图1 运动方案示意图

2.2.3 数据分析

受试佩戴的K4b2收集的数据通过无线装置同步到电脑的cosmedK4b2软件中,以10 s为单位导入到Excel2007当中,并对每种击球方式数据进行筛选,选取第30 s到90 s的数据作为统计数据;所有数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。用SPSS 22.0软件对数据进行分析 and 处理,对K4b2测量的 VO_2 和HR进行均数分析和均数比较,对不同击球方式的 VO_2 和HR进行独立样本t检验、单因素方差分析。

3 研究结果

如表3所示,不同球速、不同移动方式和不同击球方式下,受试者的 VO_2 、HR具有显著性差异($P < 0.05$)。

表3 VO_2 和 HR 在不同击球方式下的反应值

	低速(30 km/h)		高速(60 km/h)		单因素方差分析(P)	
	VO_2	HR	VO_2	HR	VO_2	HR
A1	25.8 ± 6.7	123.5 ± 25.5	27.0 ± 7.3	140.9 ± 17.7	0.00	0.00
B1	27.8 ± 6.8	127.8 ± 23.8	28.1 ± 7.3	146.0 ± 18.8		
A3	35.3 ± 7.7	139.8 ± 29.8	36.7 ± 8.8	154.1 ± 19.9		
B3	36.2 ± 7.9	149.6 ± 25.7	37.4 ± 8.3	157.2 ± 19.7		
A2	34.9 ± 7.9	153.8 ± 16.6				
B2	34.3 ± 7.7	152.7 ± 17.9				
C1	33.1 ± 7.1	149.9 ± 17.5	34.6 ± 6.6	152.6 ± 17.5		

注: VO_2 单位是 " $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ", HR 单位是 "次/min", 全文一致并做省略处理。

3.1 正手击球和反手击球

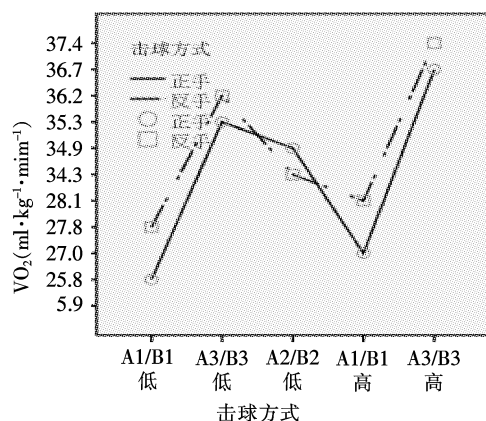
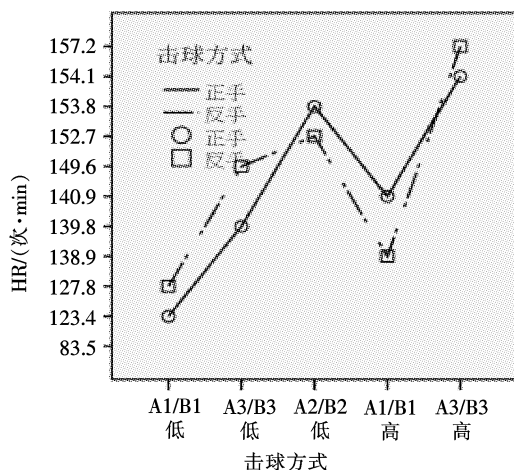
图2 不同击球方式的 VO_2 折线图

图3 不同击球方式的 HR 折线图

如图2所示,正手击球在原地和向侧移动时 VO_2 明显比反手低,A1低速(25.8 ± 6.7)、A1高速(27.0 ± 7.3)、A3低速(35.3 ± 7.7)、A3高速(36.7 ± 8.8)、A2低速(34.9 ± 7.9)比相应的反手(27.8 ± 6.8 、 28.1 ± 7.3 、 $36.2 \pm$

7.9 、 37.4 ± 8.3 、 34.3 ± 7.7)分别低了7.2%、3.9%、2.5%、1.9%和1.7%,其中除了上前移动击球外,低球速时反手与正手击球 VO_2 差异比高球速下更大。从HR来看(图3),其变化特点同 VO_2 一样,A1低速(123.5 ± 25.5)、A3低速(139.8 ± 29.8)和A3高速(154.1 ± 19.9)明显低于B1低速(127.8 ± 23.8)、B3低速(149.6 ± 25.7)和B3高速(157.2 ± 19.7);而A2低速(153.8 ± 16.6)高于B2低速(152.7 ± 17.9);A1高速(140.9 ± 17.7)却明显低于B1高速(146.0 ± 18.8)。

3.2 三种不同移动方式击球

受试者以不同移动方式击球,其 VO_2 与HR也明显不同。如图4、图5所示,无论是在低球速还是在高球速下,侧向移动击球(A3、B3)的 VO_2 均明显高于上前移动击球(A2、B2)和侧向移动正反手交替击球(C1),且高球速侧向移动击球(A3、B3)的 VO_2 更高。低球速的侧向移动击球(A3/B3低)平均比上前移动击球(A2/B2低)和侧向移动正反手交替击球(C1低)的 VO_2 高3.2%和7.9%,上前移动击球(A2/B2低)比侧向移动正反手交替击球(C1低)的 VO_2 高4.5%;高球速下侧向移动击球(A3/B3高)比侧向移动正反手交替击球(C1高)的 VO_2 高5.8%。

受试者的HR和 VO_2 有相似之处但也存在差异(图5),不同球速下不同移动击球方式的HR值波动幅度较大,高球速下侧向移动击球(A3/B3高)和侧向移动正反手交替击球(C1高)的HR比低速下(A3/B3低、C1低)高出6.5%和1.8%,低球速下的上前移动击球(A2/B2低)比侧向移动击球(C1低)的HR高出

2.2%，在相同速度下上前击球的 HR 明显高于其他移动方式击球，随着球速的增加侧向移动击球的 HR 逐渐超过侧向移动正反手交替击球。

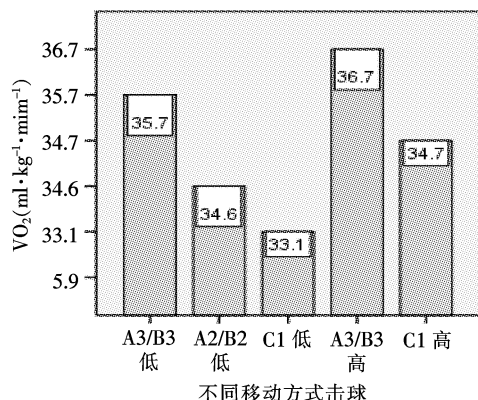


图4 不同移动方式击球的 VO₂ 值柱状图

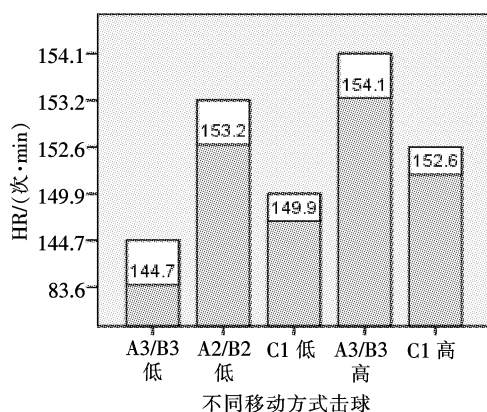


图5 不同移动方式击球 HR 值柱状图

3.3 不同球速的击球

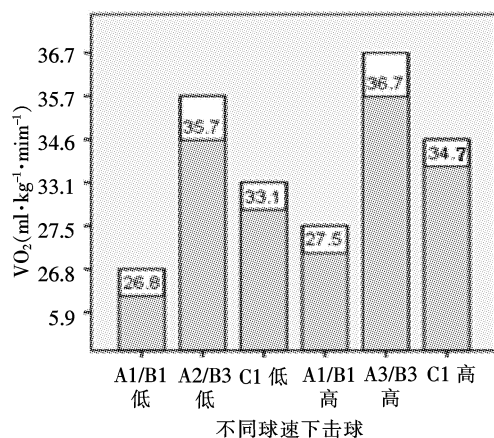


图6 不同球速下击球的 VO₂ 值柱状图

研究结果显示，受试者在高球速下击球比在低球速下击球 VO₂ 更高，高球速下的原地击

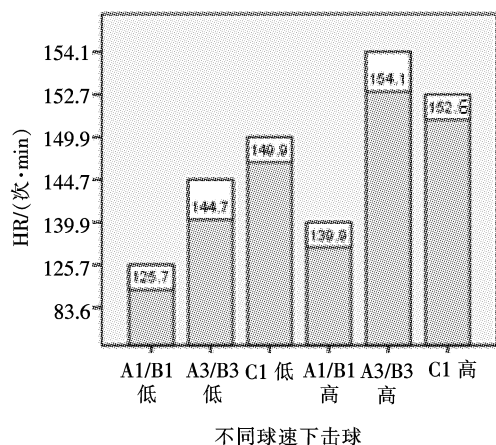


图7 不同球速下击球的 HR 值柱状图

球（A1/B1 高）、侧向移动击球（A3/B3 高）、侧向移动正反手交替击球（C1 高）比低球速下相同击球方式的 VO₂ 分别高 2.6%、2.8% 和 4.8%。

研究结果显示，高球速击球比低球速击球 HR 反应更为强烈，高球速下的原地击球（A1/B1 高）、侧向移动击球（A3/B3 高）、侧向移动正反手交替击球（C1 高）比低球速下相同击球方式的 HR 分别高了 11.3%、6.5% 和 1.8%。

4 分析与讨论

本研究的目的是评估和比较不同击球方式（A1、B1、A3、B3、A2、B2、C1）在不同球速下 VO₂ 和 HR 反应。本研究利用 K4b2 对各个运动阶段进行监测，该方法被广泛应用于安静和运动过程中的能量代谢测定，其信效度已被众多研究证明是可靠的^[10-12]。由于受试者的限制，本研究把男性和女性合并在一起分析。

研究结果表明，不同击球方式的 VO₂ 有所差异，处于 25.8—37.4 之间，此前 Smekal 等人^[13] 研究显示，网球运动的 VO₂ 在 24—29 之间。这表明，网球运动中某些具体运动方式的 VO₂ 比网球运动或比赛的整体 VO₂ 要高很多。从本研究的 HR 值来看，其变化特点与 VO₂ 变化特点有相似之处，不同击球方式下 HR 有较大的波动幅度，其变化值在 123.5—153.8 之间。

4.1 不同击球方式的摄氧量

图2表明反手击球通常比正手击球耗氧更多。从能量守恒的角度来讲，人体所消耗的能量应该完全转化为击球瞬间的击打力量，但是往往由于各种原因（如阻力、肌肉用力方式、挥拍轨

迹等),这个转化过程中的消耗是不可避免的。反手击球(默认为双手握拍),右臂向前伸展时受到身体的限制,击球点较近,导致额外消耗增加,因此运动员为了达到更好的击球效果就需要消耗更多能量^[14]。而正手击球不受身体的限制,更利于发挥全身之力击球,击球也更省力^[15]。

4.2 不同移动方式的摄氧量

毋庸置疑,移动中击球比在原地击球耗氧量更多。在向侧移动击球过程中,由于球的落点距离准备位置较远(3米),运动员首先需要做90度转身,并快速移动到合理击球区,完成击球动作后再快速返回到准备位置,整个过程涉及到三个转身(共270度,不算击球的转体动作)、两个跑动距离(共5—6米)。在向前的移动击球过程中,其移动距离相同,但不需要转体动作,早在之前就有研究表明,折返跑同比同速度直线跑需要消耗更多的氧和能量^[16];同时击球方式也对导致 VO_2 的差异:人向前移动有着与来球方向相反的惯性动能,其对击球有辅助作用,而向侧移动的惯性动能与来球方向是垂直的,辅助作用不大,这就需要运动员调动更多的能量完成击球过程。本研究结果也显示,侧向移动击球比向前移动击球的 VO_2 更大。

从研究结果还可以发现,移动的正反手交替击球比侧向移动击球耗氧量低,从理论上讲两者应该是一样的。但移动正反手交替击球往往由于准备时间不足或者移动速度不够快而导致击球时往往采取被动的防守式击球,身体并没有做出完整的击球过程,因而导致了其 VO_2 稍低。

4.3 不同球速下的摄氧量

本研究分别用30 km/h和60 km/h球速进行了测试,在较高球速下运动员对来球的判断和准备时间明显较短,这要求运动员移动、引拍、挥拍速度都更快。同时由于球速快,来球的冲击力更大,运动员需要克服更大的阻力来完成击球过程。所以运动员在较高球速下需要消耗更多的氧来支撑其生理需求,这与本研究结果(3.3)是一致的。有研究也报道了类似的结果,快速移动击球下 VO_2 显著高于低速移动击球^[17]。

4.4 心率反应与摄氧量

王步标指出,在一定范围内心率随机体需氧量的增加而增加^[18]。本研究通过曲线图和散点图(图2、图3、图8)可以直观地观察到RH和 VO_2 的变化情况:随着运动的进行,两者变

化基本同步,呈正相关。机体在运动过程中需要更多的氧来满足其生理需求,必然导致机体心肺活动加强、心率加快。

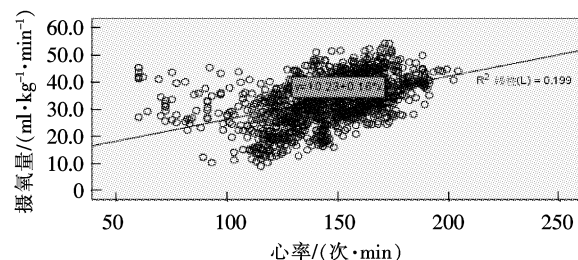


图8 VO_2 、RH 散点图

5 研究结论

本研究测试了网球运动低球速和高球速下的原地击球、侧向移动击球、向前移动击球和侧向移动正反手交替击球的 VO_2 和RH。结果显示 VO_2 在各练习中有显著性变化, VO_2 平均值在25.8—37.4之间,HR在83.6—157.2之间。

在没有移动和向侧移动时,正手击球的 VO_2 比反手击球要低2.0%—6.9%;侧向移动击球同比向前移动击球和侧向移动正反手交替击球的 VO_2 要高3.1%—8.0%;较高球速下击球比较低球速下击球 VO_2 要高1.8%—11.4%。

心率变化与摄氧量的变化同步,成正相关。

参考文献:

- [1] Novas A M P, Rowbottom D G, Jenkins D G. A practical method of estimating energy expenditure during tennis play[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2003, 6(1): 40-50.
- [2] Dansou P, Oddou M F, Delaire M, et al. Dépense énergétique aérobie au cours d'un match de tennis, du laboratoire au terrain [J]. Science & sports, 2001, 16 (1): 16-22.
- [3] Chandler T J. Work/rest intervals in world class tennis [J]. Tennis Pro, 1991, 3 (4): 417-427.
- [4] Christmass M A, Richmond S E, Cable N T, et al. Exercise intensity and metabolic response in singles tennis [J]. Journal of sports sciences, 1998, 16 (8): 739-747.
- [5] Fernandez-Fernandez J, Sanz-Rivas D, Sanchez-Muñoz C, et al. A comparison of the activity profile and physiological demands between advanced and recreational veteran tennis players [J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2009, 23 (2): 604-610.

- [6] Ferrauti A, Bergeron M F, Pluim B M, et al. Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake [J]. *European journal of applied physiology*, 2001, 85 (1-2): 27-33.
- [7] Fernandez-Fernandez J, Kinner V, Ferrauti A. The physiological demands of hitting and running in tennis on different surfaces [J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24 (12): 3255-3264.
- [8] 阎帅威, 洪磊, 李涛. 网球运动员正手击球技术的生物力学分析研究 [J]. *体育科技文献通报*, 2011, 19 (12): 36-37.
- [9] 张辉, 黄娟, 朱荣辉. 网球反手双手击球技术分析及其训练方法 [J]. *科技信息*, 2009 (34): 217-218.
- [10] Duffield R, Dawson B, Pinnington H C, et al. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b 2 portable gas analysis system [J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2004, 7 (1): 11-22.
- [11] 汤强, 王香生, 盛蕾. 体力活动测量方法研究进展 [J]. *体育与科学*, 2008, 29 (6): 79-86.
- [12] 戴剑松, 孙飙. 体力活动测量方法综述 [J]. *体育科学*, 2005, 25 (9): 69-75.
- [13] Smekal G, von Duvillard S P, Rihacek C, et al. A physiological profile of tennis match play [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2001, 33 (6): 999-1005.
- [14] 江明非. 网球双手反手击球技术分析及其训练方法 [J]. *湖北体育科技*, 2002, 21 (3): 324-325.
- [15] 郭坚. 网球正手击球技术的生物力学分析与评价 [J]. *体育科技文献通报*, 2009, 17 (12): 53-55.
- [16] Bisciotti G N, Sagnol J M, Filaire E. Aspetti bioenergetici della corsa frazionata nel calcio [J]. *SdS*, 2000, 19 (50): 21-27.
- [17] Bekraoui N, Fargeas-Gluck M A, Léger L. Oxygen uptake and heart rate response of 6 standardized tennis drills [J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2012, 37 (5): 982-989.
- [18] 王步标. 运动生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 33-79.

Oxygen Uptake and Heart Rate Response of Different Stroke Skills during Tennis Games

YUAN Chuan, CHEN En-ge, FAN Jiang-jiang

(School of Physical Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China)

Abstract: *Objective:* This research aims at studying the changing characteristics in oxygen uptake and heart rate (HR) of different stroke skills during tennis games, and laying a theoretical foundation for the advancement of tennis, training and the evaluation of energy consumption. *Methods:* the indirect calorimetry instrument (cosmed K4b2) is introduced to monitor 21 volunteers who are required to anticipate in situ forehand stroke, situ backhand stroke, lateral movement forehand, lateral movement backhand, approached forehand (only at low velocity), approached backhand (only at low velocity), and lateral movement alternating forehand and backhand stroke. Each activity lasts two minutes at comparative low velocity (30km/h) and high velocity (60km/h) separately. Each stage produces a set of VO_2 and HR data. *Results:* Those statistics indicate that the average level of VO_2 ranges from $25.8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ to $37.4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, and the HR ranges from 83.6 times per minute to 157.2 times per minute. *Conclusions:* VO_2 level of forehand stroke is significantly lower than backhand stroke when there is no movement and side movement, VO_2 during side movement stroke is higher than front movement stroke and lateral movement alternating forehand and backhand stroke, and stroke at higher velocity requires more VO_2 than the one at lower velocity.

Key words: tennis; stroke skills; oxygen uptake; heart rate