

· 运动人体科学 ·

散打运动员能量供应特点生理学分析

李勤¹, 肖国强²

(1. 湘南学院 体育系, 湖南 郴州 423000; 2. 华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510631)

摘 要: 为了解散打运动的供能特点及其影响因素。以 26 名一级、武英级水平散打运动员为试验对象, 并以 42 名 100~1 500 m 跑等 6 个项目的一级运动员为对照。通过对尿肌酐系数、气体(能量)代谢、运动后血乳酸浓度、个体乳酸阈、散打平均每次对抗时间和每次非对抗期时间等指标的测定与分析。结果发现: 每局比赛总对抗时间占每局比赛时间的 28.6%, 总间歇期(非对抗期)时间占每局比赛时间 71.4%。3 局比赛中各对抗运动时段的总耗氧量为 8.338 L, 运动后过量耗氧共为 46.162 L, 分别占 15.3% 和 84.7%, 氧亏较大。安静时的尿肌酐系数与 100、200 m 跑运动员无明显差异((38.8±7.9)与(39.7±8.5)与(39.5±8.2) mg/kg, $P > 0.05$); 各局比赛后即刻的血乳酸浓度明显低于 400、800 m 跑运动员; 个体乳酸阈与 200、1 000 m 跑的运动员差异无显著性($P > 0.05$), 最大糖酵解能力与 400、800 m 跑运动员差异有显著性(14.53±2.31、16.82±1.49 与 16.65±2.23, $P < 0.05$)。研究表明: 散打运动是以磷酸原系统为主, 乳酸能系统配合供能的对抗性变速运动项目。提示人们只有充分了解散打运动员机体的供能特点及疲劳产生的原因, 才能有针对性地提高运动员的基本身体素质, 取得优良的成绩。

关键词: 运动生理学; 散打运动; 尿肌酐; 乳酸阈; 运动后过量耗氧

中图分类号: G852.4; G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2007)09-0059-05

Physiological analysis of the characteristics of energy supply for Sanda athletes

LI Qin¹, XIAO Guo-qiang²

(1. Department of Physical Education, Xiangnan University, Chenzhou 423000, China;

2. College of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: In order to gain an insight into the characteristics and affecting factors of energy supply in the Sanda event, the authors used 26 class one and class elite Sanda athletes as the experimental subjects (ESs), and 42 class one athletes for such 6 events as 100-1,500 m runs as the controls, measured and analyzed such indexes as coefficient of urine creatinine, gaseous (energy) metabolism, blood lactic acid concentration after the game, individual lactic acid threshold, as well as average fighting time per fight and non-fighting time per break in Sanda competition, and revealed the following findings: the total fighting time in each round is 28.6% of the game time in each round, while the total break (non-fighting) time is 71.4% of the game time in each round; the total oxygen consumption for the fighting periods in 3 rounds is 8.338 L, while the total oxygen over consumption after the game is 46.162 L; these two consumptions are respectively 15.3% and 84.7% of their sum, which means that the oxygen deficit is too large; at peace, there is no significant difference between the coefficient of urine creatinine of the ESs and that of the athletes for 100 m and 200 m runs ((38.8±7.9) mg/kg vs. (39.7±8.5) mg/kg vs. (39.5±8.2) mg/kg, $P > 0.05$); the blood lactic acid concentration of the ESs immediately after each round of competition is significantly lower than that of the athletes for 400m and 800 runs; there is no significant difference between the individual lactic acid threshold of the ESs and that of the athletes for 200 m and 1 000 m runs ($P > 0.05$); there is a significant difference between the maximum glycolysis capacity of the ESs and that of the athletes for 400 m and 800 m runs

收稿日期: 2007-05-11

作者简介: 李勤(1960-), 男, 副教授, 研究方向: 运动生理学。

(14.53 ± 2.31 vs. 16.82 ± 1.49 vs. 16.65 ± 2.23 , $P < 0.05$). This study reveals that Sanda is a fast moving fighting event in which the energy is supplied primarily by the phosphagen system and secondarily by the lactic acid energy system. It is suggested that only by fully understanding the characteristics of energy supply for and the causes for the occurrence of fatigue of the body of Sanda athletes can the basic physical constitution of the athletes be action specifically improved in order to achieve an excellent performance.

Key words: athletic physiology; Sanda; urine creatinine; lactic acid threshold; oxygen over consumption after the game

随着我国近几年来高水平散打比赛广泛深入的开展,在散打运动进入 2008 年北京奥运会等大型综合性国际比赛之际,对散打运动的生理学本质及该项目的现状进行深入研究是十分必要的。虽然我国武术散打运动群众基础较好,但普遍存在着重技术训练,而缺乏具有针对性的身体素质训练的现象。主要原因是散打运动员供能特点、身体素质的生理学本质认识不足,从而导致训练效果不理想的现象普遍存在^[1-7]。良好的身体素质是技战术发挥的基础,我们时常发现一些散打运动员在比赛前期技术水平发挥较好,而比赛后期则技术水平发挥较差,甚至无法发挥基本技术。原因并不在于运动员的技术水平高低,而是因为身体素质特别是机体主要供能系统的水平没有达到相应的要求。由于对散打运动员供能特点没有正确的认识,导致训练效果差,技战术的运用不能与供能特点结合,这种只重视技术训练而忽视身体素质训练的方法是不可取的^[8-10]。因此揭示散打运动供能的生理特点,并应用这些原理来指导训练和比赛,在比赛中依据供能特点与技战术、比赛节奏等有机地结合起来,为更好地发挥自己的特点,克敌制胜提供科学的依据。

1 对象与方法

1.1 对象

以 26 名年龄 18~23 岁,体重 65~85 kg 的健康男性散打一级、武英级水平运动员为实验对象。收集了 10 名参加全国武术“散打王”比赛运动员的比赛实况录像资料,并把 100~1 500 m 跑等 6 个项目的 42 名径赛一级运动员作为对照,实验时间 2007 年 1 月至 2 月。

1.2 方法

1) 查阅全国武术“散打王”比赛的实况录像资料并对每局比赛的对抗时间和间歇时间进行了统计,用以了解散打运动员比赛过程中的运动特征:平均每次对抗时间和平均每次间歇(非对抗期)时间等。

2) 对参加“大成杯”全国散打擂台赛的 26 名一级及武英级水平运动员进行气体(能量)代谢、尿肌酐

系数、最大糖酵解能力、个体乳酸阈以及每局比赛后的血乳酸浓度及心率等指标进行测定^[2-5]。

(1) 散打运动中运动员气体(能量)代谢测量,采用日本便携式动态肺功能机体代谢遥测分析系统 AT1100 进行,测试时让运动员戴上面罩进行 3 局比赛(实验前先让运动员戴上面罩进行适应性练习),对通气量、耗氧量、气体成分等遥测分析,其中把运动员在对抗期吸氧视为运动中吸氧,而一局比赛中的非对抗期和每局比赛之间的休息期以及 3 局比赛结束后的恢复期的吸氧,定为运动后过量耗氧(整个过程去除安静时的耗氧量)。

(2) 最大糖酵解能力测定方法:26 名散打运动员和 42 名径赛运动员在跑台上进行 60 s 各人最大强度负荷运动后第 3 min 取指尖血,用日本便携式血乳酸测定仪(Lactate ProTMLT-1710)测定^[3]。

(3) 尿肌酐系数测试方法:分别取运动员 24 h 全尿(运动员全天休息)混匀后取 0.1 mL 稀释(200 倍)至 20 mL,采用碱性苦味酸法比色测定。

(4) 个体乳酸阈在程控跑台上从 2 m/s 开始逐级间隔 0.5 m/s 递增负荷,每级负荷距离为 400 m,测出每档跑速后第 3 min 的血乳酸浓度,判断个体乳酸阈值(以跑速表示)。

(5) 测试径赛各项目运动员比赛后和散打运动员每局比赛后第 3 min 的血乳酸浓度时,采耳垂血,测试方法同上。

(6) 用遥测心率仪测试记录每局比赛后即刻的心率,作为参考指标。并把散打运动员各指标与径赛项目运动员的相应指标进行对比判断,数据处理方法采用小样本 t 检验等统计方法进行差异显著性判断。

2 结果与分析

2.1 散打比赛时运动员每局比赛的运动变化特征

每局比赛总对抗时间为 51.48 s,占每局比赛时间的 28.6%,平均每次对抗时间(4.29 ± 2.93) s。总间歇时间为 128.52 s,占每局比赛时间的 71.4%,每次平均间歇时间(10.71 ± 4.58) s。每局比赛由 10~15 次(平均为 12 次)对抗和相同次数的非对抗期组成,因此散打运

动相当于3 min的变速(间歇)运动。同时在一局比赛中我们观察到一种现象,即一局比赛中每次对抗时间越长对抗次数就越少,比赛就越剧烈,心率及负荷就越高,运动员就越容易出现疲劳。

2.2 散打运动员比赛各时段气体代谢情况

3局比赛中各对抗运动时段的总耗氧量为8.338 L,运动后过量耗氧共46.162 L,分别占3局比赛总耗氧量的15.3%和84.7%,显然,运动后过量耗氧明显大于运动对抗中的氧耗,氧亏较大。

2.3 各项目运动员安静时尿肌酐系数(磷酸原系统能力)、最大糖酵解能力和个体乳酸阈值比较

散打运动员的尿肌酐系数较大,与100 m、200 m跑运动员尿肌酐系数相类似($P>0.05$),与其他运动员

差异显著($P<0.05$)(见表1)。最大糖酵解能力的测定,散打,100 m、200 m、400 m、800 m、1 000 m、1 500 m跑等运动员在程控跑台上,以本人最大强度持续60 s跑,对负荷后第3 min的血乳酸浓度测定值,发现200 m、1 000 m跑运动员的血乳酸水平(14.33 mol/L、14.80 mol/L)与散打运动员的血乳酸水平(14.53 mol/L)差异无显著性($P>0.05$)。

对散打运动员的个体乳酸阈和100 m、200 m、400 m、800 m、1 000 m、1 500 m跑运动员的个体统计比较(见表1),发现散打运动员个体乳酸阈值水平与200 m跑的运动员乳酸阈值水平差异无显著性($P>0.05$),而与其它组特别是有氧耐力为主的运动员差异存在显著或非常显著性($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

表1 散打与各径赛项目运动员安静尿肌酐、60 s最大负荷后血乳酸、个体乳酸阈($\bar{x} \pm s$)比较

项 目	人数	尿肌酐系数/(mg·kg ⁻¹)	c(血乳酸)/(mmol·L ⁻¹)	个体乳酸阈/(m·s ⁻¹)
100 m	6	39.7±8.5 ¹⁾	12.45±1.27 ³⁾	3.57±0.29 ³⁾
200 m	8	39.5±8.2 ¹⁾	14.33±2.08 ¹⁾	4.04±0.21 ¹⁾
400 m	10	32.2±7.1 ²⁾	16.8±21.49 ²⁾	4.26±0.24 ²⁾
800 m	8	31.4±6.3 ²⁾	16.65±2.23 ³⁾	4.42±0.17 ³⁾
1 000 m	5	29.0±5.5 ²⁾	14.80±1.79 ¹⁾	4.50±0.22 ³⁾
1 500 m	5	30.3±6.2 ²⁾	13.84±1.46 ³⁾	4.59±0.20 ³⁾
散打比赛	26	38.8±7.9	14.53±2.31	4.10±0.19

与散打比较: 1) $P>0.05$; 2) $P<0.05$; 3) $P<0.01$

2.4 散打运动员每局比赛后和400 m、800 m跑运动员比赛后血乳酸值比较

400 m、800 m跑是乳酸能系统供能的代表项目,散打运动通过与它们的比较,发现散打运动员每局比赛后的血乳酸值并不是很高(第1局比赛:(9.72±2.12) mmol/L,第2局比赛:(11.34±2.45) mmol/L,第3局比赛:(13.66±2.91) mmol/L),和400 m(16.71±2.29 mmol/L)、800 m(17.75±1.93) mmol/L跑等高乳酸项目比赛后相比,明显偏低($P<0.01$),说明乳酸能系统在散打运动能量供应中比例可能不是最高的系统。

3 讨论

由散打运动每局比赛10~15次(平均为12次)对抗和相同次数的间歇期(非对抗期)组成,是一种短时间大强度的间歇性变速运动。在对散打比赛中各阶段的耗氧量的测定时,我们把运动员在对抗期的吸氧视为运动中吸氧,而比赛中的间歇期(非对抗期)和每局比赛之间的休息期以及3局比赛结束后的恢复期所吸氧,定为运动后过量氧耗(整个过程去除安静时的耗氧

量),可以看出运动员比赛中的氧亏很大,但恢复也很快,对抗运动中耗氧量只占15.3%,而运动后过量耗氧占84.7%,有84.7%的氧亏要在对抗运动后补偿,说明在散打对抗运动中大部分依赖无氧系统供应能量。由气体代谢的比例计算分析可知,散打运动的无氧供能约占84.7%,有氧供能约占15.3%,很明显,该运动以无氧供能为主。尿肌酐系数是判断磷酸原系统代谢水平的主要指标,由表1中数据可知,散打运动员的尿肌酐系数很高为(38.81±8.9) mg/kg,与100、200 m跑等速度力量型运动员的磷酸原供能水平相当($P>0.05$),表明散打运动员的磷酸原系统能力很强。60 s最大负荷测试法是评定运动员最大糖酵解能力的方法,从散打运动员最大糖酵解能力方面来看,该项目与200 m和1 000 m跑运动员相似($P>0.05$),属同等水平,但与400 m、800 m跑等高乳酸项目运动员的最大糖酵解能力相比,明显偏小。400 m、800 m跑是乳酸能系统供能的代表项目^[11],说明糖酵解供能在散打运动能量供应中比例可能不是最高的系统。而它的最大糖酵解能力既与以无氧供能为主的200 m跑相

近,又与有氧供能比例较高的1000 m跑同等水平,似乎存在矛盾。其实我们只要了解乳酸能系统供能的特点就完全可以理解,这是因为乳酸能系统供能比例在能量连续统一体中从0到1.5 min(或1 min)左右逐步上升,而从1 min(或1.5 min)以后供能比例转而逐步下降,虽然200 m和1000 m跑负荷强度和g时间都不同,它们分别排列在能量连续统一体中的第2区前部和第3区的后部,但是这两个区域乳酸能系统供能比例基本相同,区别在于散打和200 m跑以磷酸原和乳酸能系统为主,而1000 m跑则以乳酸能和g有氧化系统供能为主。通过测定散打运动每局比赛后3 min的血乳酸浓度,发现它每局比赛后的血乳酸浓度并不很高,明显低于400 m、800 m跑等高乳酸项目($P<0.01$),说明乳酸能系统提供了一定比例的能量,但并不是最主要的供能系统。为了更全面的了解该项运动供能特点,我们还进行了各项目运动员的个体乳酸阈的测定和比较,很明显(见表1),散打运动员的个体乳酸阈值并不高,只在200 m和400 m跑之间,明显小于其他有氧耐力运动员的乳酸阈值,差异显著或非常显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$),由此可见散打运动的有氧供能水平不高。综合以上的分析,我们可以确定,散打运动的供能途径主要是磷酸原系统,其次是乳酸能系统,无氧供能比例约占84.7%,有氧供能仅占15.3%,两者中磷酸原系统为主要供能系统,乳酸能系统略低于磷酸原系统。在能量连续统一体中供能比例无氧为80%~90%,有氧为10%~20%的区域在第2区(30 s~1.5 min)的中部区域^[24],因此我们认为散打运动供能水平相当于能量连续统一体的第2区的中部。

1)速度力量(爆发力)的生理学基础。

由上述对散打运动能量供应特点的分析可知:散打运动既要有很好的爆发力,又要有较好的无氧耐力(速度耐力)。它每次平均对抗时间为 (4.29 ± 2.43) s,最长对抗时间一般不超过10 s,每次间歇时间平均为 (10.71 ± 4.59) s,是由大强度短时间速度力量型的对抗期和非对抗期组成的变速运动项目。每局比赛需要持续3 min,时间较长,因此该项目既依赖于磷酸原系统又需要乳酸能系统供能。磷酸原系统的供能是肌肉发挥爆发力的基础,是爆发力运动的能量主要供应系统,但它的容量小^[12]。因此,提高相应骨骼肌的磷酸原系统供能水平,是提高爆发力的主要手段,而提高该系统水平最有效的方法是采用高强度(高速度、大力量)短时间练习进行系统训练,选择性地使白肌纤维优先发展^[13]。特别是肌肉力量练习,它不仅能使肌纤维内的收缩蛋白合成增多,使肌纤维增粗,增加肌肉收缩

力^[14],更重要的是系统的力量训练可以增加肌糖原、磷酸肌酸(CP)的含量^[15-16],有效提高磷酸原系统的容量,提高ATP酶、果糖磷酸激酶的活性,增加肌红蛋白含量。肌肉的贮氧能力得到提高,使肌肉的生理、生化成分发生适应性改变,为肌肉收缩提供更充足的能量,从而达到增大肌肉收缩力量的目的^[6, 17]。

2)散打运动无氧耐力的生理学基础。

如前所述,散打项目既要有很强的爆发力又要有较好的无氧耐力,是混合性无氧供能项目。无氧耐力是指机体在供氧不足的情况下较长时间运动的能力。提高乳酸能系统的功能,可使机体保持较快速度较长时间的运动^[18]。而散打运动员正是需要这种重要的能力。用较大强度较长时间刺激肌肉,使无氧酵解能力加强,从而使机体持续高强度运动的能力增强。但是仅仅提高无氧酵解能力是远远不够的,因为无氧酵解能力越强产生的乳酸就越多,对身体的刺激就越大,越容易出现疲劳^[19]。只有同时提高脑组织对血乳酸的耐受力 and 机体对乳酸的清除力、缓冲能力,才不至于使乳酸堆积过多造成疲劳提前出现^[20]。本研究中,散打运动员第1局比赛后的血乳酸平均值为 (9.72 ± 2.12) mmol/L,第2局为 (11.34 ± 2.45) mmol/L,第3局为 (13.66 ± 2.91) mmol/L。第1局比赛后的其它几局比赛,由于局间没有经过完全恢复致使前面的部分血乳酸累积到后面的比赛中,因此随着比赛局数的增加机体血乳酸浓度随之递增,后面各局比赛的血乳酸并非完全由该局比赛产生,但3局比赛后运动员血液中乳酸堆积的浓度仍然较高,因此要求运动员耐乳酸能力和乳酸消除能力相应要高。乳酸清除的主要途径是有氧化及血液的缓冲,有氧能力越强乳酸消除速度越快,对机体的影响就越小,抗疲劳能力就越强,是散打运动员较重要的生理基础^[21-22]。因此从这个角度看也要适当地提高肌肉有氧能力。此外,运动员脑组织对缺氧和血乳酸堆积的耐受力,也是一个很重要的方面。大脑组织受到缺氧和血乳酸影响会导致工作能力下降、意识模糊、动作迟缓,反应能力、技战术质量下降,这是散打运动员必须克服的难点^[23]。散打运动项目一般每场有3局或5局比赛,每场比赛相当于3次或5次间歇变速运动,由于局间休息时间只有1 min,比赛中后期血乳酸堆积较多,对运动员的运动能力有较大影响。综上所述,散打运动员身体素质的生理学基础,主要决定于以下几个方面:混合无氧供能能力、机体对血乳酸的清除能力、机体特别是脑组织对血乳酸和缺氧的耐受力。只有在平时训练中通过高强度短时间的间歇训练,使机体缺氧及血乳酸堆积来加强对大脑组织的刺激,提高耐乳酸能力和清除能力,才能有效

促进无氧耐力水平的提高。

参考文献：

- [1] 张山.中国散手[M].北京：人民体育出版社，2000.
- [2] 杨锡让.运动生理学进展[M].北京：北京体育大学出版社，1999：313-319.
- [3] 李勤.无累进负荷与有累进负荷测定乳酸阈结果的对比研究[J].体育学刊，2001，8(1)：56-57.
- [4] 肖国强.运动与能量代谢[M].北京：人民体育出版社，1998：33-34.
- [5] 冯美云.运动生物化学[M].北京：人民体育出版社，2000：323-330.
- [6] 邓树勋.运动生理学[M].北京：高等教育出版社，2002：363-380.
- [7] 董子红.泰国拳[M].北京：北京体育大学出版社，1998.
- [8] 江百龙.现代散打[M].武汉：湖北科学技术出版社，2002.
- [9] 董庆辉.散打拳击技法[M].北京：北京体育大学出版社，1999.
- [10] 王卫东.军警实用格斗术[M].北京：北京体育大学出版社，1998.
- [11] Duffield R ,Dawson B ,Goodman C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running[J]. J Sports Sci , 2005 , 23(3) : 299-307.
- [12] Trump M E , Heigenhauser G J , Putman C T , et al.Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling[J].J Appl Physiol ,1996 ,80(5) : 1574-1580.
- [13] Bogdanis G C , Nevill M E , Boobis L H , et al.Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise[J]. J Appl Physiol , 1996 , 80(3) : 876-884.
- [14] Tesch P A.Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise[J].Med Sci Sports Exerc , 1988 , 20(5) : 132-134.
- [15] Volek J S.Rawson ES.Scientific basis and practical aspects of creatine supplementation for athletes[J]. Nutrition , 2004 , 20(7-8) : 609-614.
- [16] Lemon P W.Dietary creatine supplementation and exercise performance : why inconsistent results?[J].Can J Appl Physiol , 2002 , 27(6) : 663-681.
- [17] Conley M S , Stone M H.Carbohydrate ingestion/supplementation or resistance exercise and training[J].Sports Med , 1996 , 21(1) : 7-17.
- [18] Messonnier L , Freund H , Denis C , et al.Effects of training on lactate kinetics parameters and their influence on short high-intensity exercise performance[J].Int J Sports Med , 2006 , 27(1) : 60-66.
- [19] Stallknecht B , Vissing J , Galbo H.Lactate production and clearance in exercise. Effects of training.A mini-review[J].Scand J Med Sci Sports , 1998 , 8(3) : 127-131.
- [20] Sos C.Reduction of plasma lactate elevation and proteinuria by a complex dietary supplement in swimmers during over-loading training[J].Acta Physiol Hung , 2004 , 91(3-4) : 211-219.
- [21] Bosquet L , Leger L , Legros P.Blood lactate response to overtraining in male endurance athletes[J].Eur J Appl Physiol , 2001 , 84(1-2) : 107-114.
- [22] Coyle EF.Integration of the physiological factors determining endurance performance ability [J]. Exerc Sport Sci Rev , 1995(23) : 25-63.
- [23] Leal-Cerro A , Gippini A , Amaya M J , et al.Mechanisms underlying the neuroendocrine response to physical exercise[J].J Endocrinol Invest ,2003 ,26(9) : 879-885.

[编辑：郑植友]