

·综述·

运动负荷强度与运动疲劳程度量化分级研究进展*

上官若男¹ 苏全生^{1,2} 尚画雨¹ 黄玫梅¹

在体育科研中大量涉及运动干预,关于运动负荷与机能反应的报道很多,但各报道中涉及的负荷强度、负荷方式及负荷密度各异,尚没有一个大家公认的运动负荷量化标准。虽然有很多研究,但很零乱,各研究之间的可比性较低,不利于后续研究的参考和比较,因此目前尚缺少一个大家认同的具有量化的和可比性的负荷强度评价体系、疲劳评价体系。本文试图对现有文献,运用归纳、比较、分析等方法探讨运动强度的统一划分和运动疲劳分级,以期对后续研究提供有益的帮助。

1 目前常用人体运动实验的形式与强度

体育科研中常见的人体运动性疲劳模型,目前运用较广泛的为功率自行车实验模型、跑台实验模型,在实验条件不具备的情况下运用台阶实验模型。

1.1 功率自行车实验模型

1.1.1 Wingate无氧能力实验:涉及的负荷量见表1。

表1 Wingate无氧能力试验负荷量汇总表		
资料来源	负荷值	备注
Neil Armstrong等 ^[1]	0.075kP/kg、BW	经典的Wingate无氧能力试验负荷值提出最适负荷这一概念 该值为成年男性最适负荷
Evans,Quinney ^[2]	0.098kP/kg、BW	
Patton ^[3]	0.094kP/kg、BW	
浦钧宗 ^[4]	男0.083kP/kg、BW, 女0.075kP/kg、BW	
Olded Bar-or ^[5]	男0.085kP/kg、BW, 女0.076kP/kg、BW	

1.1.2 单一负荷运动:在实验中运用较少,负荷量的设计多是实验者按照实验需要自行设计的,没有一个统一的负荷强度标准。

1.1.3 递增负荷运动:在测定有氧耐力实验中应用的最为广泛,在实验中分别以两级递增、多级递增模型被应用。

卡尔普曼采用大强度两级负荷法测定PWC170(Physical Work Capacity,PWC170系指运动中心率达到170次/min的稳定状态下,单位时间身体所做的功。PWC170值是评定身体工作能力的重要指标之一,即PWC170值越大,表示机体做功能力就越强),并可根

据第1次负荷时的心率选定第2次负荷工作强度值。
多级递增负荷运动的负荷级数从3级至更多,有的实验负荷量已明确限定,有的实验则设计一个起始负荷,以每次递增1负荷数直到力竭为止。作者查阅的文献中,以3min递增负荷运动实验应用最为广泛;也有文献涉及1min递增负荷运动实验(即Knipping法)和线性递增负荷运动实验,有报道称这3种方法比较有氧耐力没有显著性差异,这3种递增负荷运动实验均可作为功率自行车进行有氧耐力测试的方法。但也有少量文献采用2min递增负荷运动实验,即Nowacki法。McNaughton LR等^[6]的报道称3min递增负荷法和5min递增负荷法对最大输出功率、最大心率和最大乳酸堆积都无明显差异。

1.1.4 5周递增负荷运动方式:每周分别按照60% VO₂max、70% VO₂max、80% VO₂max、90% VO₂max、95% VO₂max运动强度进行训练,可以依照公式转换成自行车功率计负荷量。

1.1.5 对于负荷量的大小,众多报道也有差异:Fox^[7]提出以150W负荷在功率自行车上骑5min获得亚极量心率。国内有研究发现,1W/kg法(Nowacki)为测定最大吸氧量较为理想的方法。作者查阅的25篇有关递增负荷的文献中,起始负荷与递增负荷量的文献分布量见表2。

国外的研究对于大强度训练方案,根据受试者的体重采用150—200W范围为起始负荷^[6]。多数实验自行车转速为60r/min,少量文献涉及的自行车转速为50r/min和75r/min。

表2 负荷文献量分布表

	起始负荷									递增负荷量				
	0W	30W	40W	50W	60W	80W	100W	150W	200W	20W	25W	30W	40W	50W
文献量	2	4	1	6	3	2	2	1	1	4	2	6	4	9

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.02.025

*基金项目:四川省运动医学重点实验室资助项目

1 成都体育学院研究生部,成都,610041; 2 通讯作者

作者简介:上官若男,女,硕士研究生; 收稿日期:2012-04-25

1.2 跑台实验模型

作者查阅文献涉及到跑台实验模型的有跑台恒定负荷运动、跑台递增负荷运动,跑台递增负荷包括跑台递增至力竭模型和跑台定量负荷模型。跑台坡度模型有上坡跑、平板跑台和下坡跑,在肌肉作向心收缩的实验中设计上坡跑台,肌肉作离心收缩的实验中设计下坡跑台。跑台运动在设计负荷量时以调节跑台坡度和运动速度来设计运动强度。文献中总结的方案有:跑台坡度和运动速度均不改变,持续运动一段时间至疲劳;跑台坡度不变,速度递增;跑台坡度和运动速度均随时间递增;有的实验中跑台坡度预先维持一定值,运动速度递增,达到一定强度后坡度也随时间递增。

文献报道经典模型有 Bedford 跑台训练模型, Bruce 改良方案递增负荷运动。国外有学者通过每 200m 增加 0.14m/s 的跑台速度而取代一定时间间隔增加速度。Gordon 等^[8]参照前人设计方案,采用起始速度为 5km/h,坡度为 0%,然后维持跑台速度不变,每 2min 增加 2% 的坡度,直到跑台坡度增至 14% 时,坡度不再改变,此时速度每 1min 增加 0.5km/h,直到运动终止。Erling A 等^[9]设计的大强度跑台试验中,跑台坡度维持 3%,起始速度为 7km/h,然后每 1min 增加 0.75km/h 直到精疲力尽为止。此外国内学者建立的运动员 DOMS 模型。

1.3 台阶实验模型

经典的台阶模型有哈佛式台阶实验, Margaria 台阶无氧功率实验,日本改良型台阶实验。

2 目前常用动物运动实验的强度及形式

动物运动实验除了少量文献涉及到大白兔和狗外,主要为大鼠和小鼠,本文主要讨论大鼠作为研究对象的运动形式和疲劳反应。

体育科研中常见大鼠运动负荷形式,目前运用较广泛的为跑台运动模型和游泳运动模型。有学者认为,大鼠通过游泳运动比跑台运动有更多的优点:①在运动中除了承受体力外,所受其他不良刺激少;②易维持运动强度在较高水平;③所需的设备大多简便易得;④游泳对心脏的影响比较显著。笔者认为,游泳运动与跑台运动相比,另一优点就是大鼠在水中游泳,如果不游就会被淹死,出于自身的自救本能,大鼠会竭力游泳,不会产生强烈的抵触情绪,容易达到实验本身的预定强度,而跑台运动虽然运动量和运动强度可以通过调整跑的时间、跑速和跑台坡度准确控制,但动物在跑台上运动除本身的惰性外容易受到其他刺激而产生防御性应激,较难达到实验预计的强度。近些年来,有文献报道,一些新的运动方式在模型复制方面已经体现出一定的优势,如转笼运动可以很好地模拟人类耐力训练,举重、负重爬可较准确地模拟人类力量训练,不足之处主要是动物的驯养比较复杂。

常见大鼠跑台运动形式见表 3。常见大鼠游泳运动形式见表 4。此外还有利用中医理论建立的中医疲劳综合征大鼠模型。

表 3 大鼠跑台运动形式汇总表

负荷方式	文献来源
Bedford 渐增负荷跑台模型	[10]
单一负荷跑台形式	[11]
坡度 0%,速度 26m/min,相当于 65%—70%VO ₂ max	[12]
坡度 0%,速度 30m/min,相当于稍低于 80%—85%VO ₂ max	[13]
坡度 0%,速度 20m/min	[14]
坡度 2%,速度 30m/min	[15]
以 50%—70%最大运动速度训练	[16]
以 85%最大运动速度训练,测得的跑速 32m/min	[17]
坡度 6%,速度 40m/min,为最大强度运动	[18]
坡度 -16°,速度 17m/min	[19]
递增负荷跑台形式	[20]
坡度 0%,速度由 2m/min 递增至 8m/min,被认为是较低强度的训练	[21]
坡度 0%,速度由 12m/min 递增至 16m/min,被认为是低强度的训练	[22]
坡度 8%,跑速分别为 12m/min,22—23m/min,23—25m/min,相关研究称此强度大约为 75%最大运动能力	
坡度 5°—18°,速度 10.2—27m/min,认为是一个高强度的训练,设计跑台的陡坡是用来刺激大鼠高强度的肌肉活动	

3 目前常用人体、大鼠疲劳判定标准

3.1 人体疲劳判定标准

人体疲劳反应可以通过自我感觉和生理指标测定法评定。Borg 制作的主观体力感觉等级表(rating of perceived exertion, RPE),当自觉疲劳程度等级达到 19—20,大汗、呼吸困难,经反复鼓励仍不能继续坚持运动,即达到重度疲劳;生理指标如测定心率、血乳酸,心率是评定运动性疲劳最简易的指标,当受试者心率持续达到 180b/min 以上,则提示机体

已严重疲劳,血乳酸是掌握运动强度的重要指标,最高可达 32mmol/L。

3.2 文献报道大鼠力竭标准

见表 5。而国外对于大鼠跑台运动疲劳模型的研究,多采用定量负荷,很少涉及力竭判定标准。

4 对运动模型与力竭性运动的商榷

4.1 对运动模型的商榷

表4 大鼠游泳运动形式汇总表

负荷方式		文献来源
Thomas游泳实验模型		[23]
10d递增负荷游泳实验模型		[24]
负重量	无负重	[25]
	负5%自身体重,被认为是一个低强度的训练	[26]
	持续训练组负5%自身体重,周期性训练组负2.5%—50%自身体重	[27]
	分别负7%、9%、11%、15%自身体重,测定临界负荷(CL)和无氧游泳能力(ASC)	[28]
	负8%体重	[29]
	分别负大于和小于5%体重	[30]

表5 大鼠力竭判定标准汇总表

运动形式	力竭判定标准	文献来源
游泳	游泳动作不协调,且沉入水中10s不能浮出水面	[25]
	Thomas报道,大鼠沉入水面下超过10s,捞出后置于平面不能完成翻正反射	[23]
跑台	动物未能坚持负荷跑速,先后滞跑道后1/3处达3次以上,体征衰竭,刺激驱赶无效	[31]
	动物跟不上预定速度,臀部压在笼具后壁,后肢随转动皮带后拖达30s,毛刷刺激驱赶无效。行为特征为呼吸深急、幅度大,神情疲倦,俯卧位,垂头	[32]
	大鼠腹部完全贴在跑台上,反复刺激四肢不再运动	[33]
	大鼠爬卧跑台,10s内无法完成翻正反射	[34]
	大鼠不能坚持原跑速,滞留、俯卧在跑道后格栅处30s以上,木棍等轻微刺激驱赶无效	[35]

文献中大量谈到运动模型,所谓模型的设计,应具备以下原则:①相似性;②重现性;③可靠性;④适用性;⑤可控性;⑥易行性。因此在很多实验中提到的模型并不具备标准,多数是运动方案,现涉及的真实能够成为模型的为数不多,更多的研究是按照实验的需要设计的一种运动方案,而运动方案在没有被反复验证和利用时不能称为模型,因此目前的研究存在模型滥用的现象,今后的研究对运动模型的提法须谨慎。

4.2 对力竭性运动的商榷

1983年第五届国际运动生化会议对运动性疲劳的定义为:机体不能将它的机能保持在某一特定水平,或者不能维持某一特定的运动强度。运动性力竭是疲劳的一种特殊形式,是疲劳发展的最后阶段,机体疲劳时并未达到力竭,力竭是机体完全不能运动,但这种情况在实验中几乎不会发生。

力竭带有主观性,是一个相对的概念。动物作为实验对象,不同于人,在以人为受试对象的实验中,实验者可以根据受试者自身的主诉、运动史、各种体力实验和心理测试等主客观检查判定疲劳程度;而动物缺乏主诉,只能根据实验者主观观察到的现象以及动物的反应判断是否达到力竭,问题就在于此,由于实验者主观判断的不同导致实验结果不具可靠性,从而使各个研究的可比性较低。大鼠力竭性游泳,以往有些实验采用大鼠沉水3s或淹过鼻孔3s作为力竭标准,但大鼠本身能够在水中屏气,这样也导致实验结果存在一定的误差。

笔者发现实际上很多研究提到的力竭多是受试者不能坚持预定的运动强度,但并不能排除受试者可以承受较低负

荷强度的可能,因此此时并不能称为力竭。力竭是一个终点,而这些反应是疲劳发展中的一个过程,比如跑台运动中不能维持12m/min的跑速,但可以跑6m/min甚至走,此时机体并未力竭,所以我们在文献中看到的实际上多是受试者不能维持预定的运动强度即定义为力竭,这和力竭的本意是不同的,因此不同的研究都采用力竭,但同样的力竭不同的研究受试者反应不同,使得各研究之间缺乏可比性。

所以,“力竭”要慎用,建议使用客观标准“终止运动”更合理。

5 初探运动强度的统一划分和疲劳分级

5.1 初探运动强度的统一划分

文献中涉及人体运动强度的划分,目前运用较广泛的为以最大摄氧量百分比、最大心率百分比、1RM百分比划分运动强度,笔者总结分析以往文献资料,试初步将人体运动强度进行统一的划分见表6。

功率自行车实验中,目前国内外公认以150—200W为起始负荷作为大强度训练的负荷强度比较合理,但各研究比较凌乱,缺乏一个统一的量化标准。

表6 人体运动强度划分表

负荷强度	最大摄氧量百分比	最大心率百分比	1RM百分比
低强度	50%	<60%	<45%
中等强度	50%—60%	60%—75%	45%—70%
大强度	61%—85%	76%—90%	71%—85%
极限强度	86%—100%	91%—100%	86%—100%
文献来源	[6][36]	[37]	[38][39]

大鼠跑台运动实验中,以调节跑速设定运动强度为主,笔者总结分析以往文献资料,试初步对运动强度进行统一的划分见表7。

表7 大鼠跑台运动强度划分表	
负荷强度	负荷量
低强度	<16m/min
中等强度	16—20m/min
大强度	21—35m/min
极限强度	36m/min以上
文献来源	[19-22]

对应上述跑速的跑台坡度均为0%。

而且当跑台坡度达到18°时,即使速度没有达到最大强度的速度,也可以获得最大强度的训练。目前国外很多实验采用最大运动速度百分比设定运动强度,以50%—70%最大运动速度获得中等强度的训练,85%及以上获得大强度的训练,这样设计的优点在于可以根据动物个体间运动能力的差异区别训练,使实验结果更可靠。

大鼠游泳运动实验中,文献报道最大负重可达50%自身体重,但这种强度会使大鼠在水中不能游泳而是跳跃挣扎,我们可以通过计数大鼠跳跃的数目而取代游泳时间,设定这一强度也使为了获得最大乳酸堆积。

研究表明,最大乳酸稳态(MLSS)对应的负荷强度为机体由有氧向无氧代谢过渡的临界负荷。人体实验已证实血乳酸浓度与运动强度的变化呈指数关系,近年来,国外学者将MLSS运用到大鼠运动实验研究中,研究发现,大鼠跑台运动中,当速度达到20m/min时出现MLSS^[40];大鼠游泳运动中,当负荷5%—6%体重时,出现MLSS和无氧阈,因此将负5%

自身体重及以下的训练称为低强度训练,负1%—3%体重为无氧阈以下强度,负8%—10%体重为无氧阈以上强度。因为MLSS所对应的运动强度为机体所能够承受的最大有氧运动负荷强度,因此在设定运动强度时,可以20m/min和负5%—6%自身体重为临界,设定以上和以下负荷进行有氧和无氧训练,但具体负荷强度值的确定还有待于今后进一步的研究。

5.2 初探运动疲劳的分级

人体疲劳评定可以根据人体主观体力感觉等级表(RPE)和最大心率、血乳酸等客观指标进行评定。在确定最大有氧工作能力时,最大心率还用于判断受试者是否尽了全力。国外有学者研究认为当达到最大心率的90%时,机体已经严重疲劳^[8],因此可以参考90%最大心率评定机体疲劳程度。但由于目前人体疲劳实验条件的限制、指标的复杂多变以及个体间的差异,对人体疲劳程度的初步分级存在困难,有待于今后进一步的研究。

对于大鼠疲劳评定,目前文献中常常用到“力竭”。力竭是一个相对的概念,在实验中完全不能运动几乎是不会发生的,因此目前的研究存在力竭滥用的现象,很大程度的影响了实验结果的可靠性。笔者总结分析以往文献资料,试初步根据大鼠主观反应将疲劳分为轻度、中度、重度三个级别。见表8。

对比国外研究,多为定量负荷,更具有客观性,因此建议今后的实验方案设计应倾向于定量负荷运动实验。

综上,运动强度的统一划分和结合生理生化指标对运动疲劳进行统一的量化分级,是体育科研中急需解决的问题,期望本文能够对今后的再研究有所帮助。

表8 大鼠运动疲劳程度分级表	
运动形式	疲劳分级
跑台	轻度:大鼠跟不上预定速度,但经反复刺激驱赶后仍能跟上预定速度
	中度:大鼠完全跟不上预定速度,但降低运动速度后经反复刺激驱赶大鼠仍能运动
	重度:即使跑台速度降低为零,经反复刺激驱赶大鼠仍不能运动,大鼠腹部完全贴在跑台上,反复刺激四肢不再运动,肌肉系统功能丧失
游泳	轻度:大鼠游泳动作刚刚出现不协调,水淹没鼻尖,但低于10s后仍能浮出水面,放在平面上可完成翻正反射
	中度:大鼠游泳动作明显不协调,沉入水中10s不能浮出水面,但放在平面上仍可完成翻正反射
	重度:大鼠游泳动作完全不协调,出现挣扎状,沉入水中10s不能浮出水面,放在平面上无法完成翻正反射

参考文献

[1] Neil Armstrong. Performance on the Wingate Anaerobic Test and Maturation[J].Pediatric Exercise Science,1997,9(3):253—261.

[2] Evans JA,Quinney HA.Determination of resistance settings for anaerobic power testing[J].Canadian Journal of Applied Sport Sciences,1981,6(2):53—56.

[3] Patton JF, Murphy MM, Frederick FA.Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test[J].Int J Sports Med Apr, 1985,6(2):82—85.

[4] 浦钧宗.无氧试验的进展[J].中国运动医学杂志,1989,8(2):96—99.

[5] Bar-or O.The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity[J].Sports Med,1987(4):381.

[6] McNaughton LR,Roberts S, Bentley DJ.The relationship among peak power output,lactate threshold,and short-distance cycling performance:effect of incremental exercise test design[J].Journal of Strength and conditioning Research,2006,20(1):157—161.

[7] Fox EL.A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power[J].J Appl Physiol,1973,35(6):914—916.

- [8] Gordon BA, Knapman LM, Lubitz L. Graduated exercise training and progressive resistance training in adolescents with chronic fatigue syndrome: a randomized controlled pilot study[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2010, 24(12): 1072—1079.
- [9] Alqroy EA, Hetlelid KJ, Seiler S, et al. Quantifying training intensity distribution in a group of Norwegian professional soccer players[J]. *Int J Sports Physiol and Performance*, 2011, 6: 70—81.
- [10] Bedford TG, Tipton CM, Wilson NC, et al. Maximum oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures[J]. *J Appl Physiol*, 1979, 47(6): 1278—1283.
- [11] Ghanbari-Niaki A, Fathi R, Kakhak SA, et al. Treadmill exercise, s reduction of Agouti-related protein expression in rat liver[J]. *Int J Sport Nutrition & Exerc Metabolism*, 2009, 19(5): 473.
- [12] YQ Liu, Chang YZ, Zhao B, et al. Does hepatic hepcidin play an important role in exercise-associated anemia in rats[J]. *Int J Sport Nutrition & Exerc Metabolism*, 2011, 21(1), 19—26.
- [13] Hokari F, Kawasaki E, Sakai A, et al. Muscle contractile activity regulates Sirt3 protein expression in rat skeletal muscles[J]. *J Appl Physiol*, 2010, 109(2): 332.
- [14] Noble EG, Ho R, Dzialoszynski T, et al. Exercise is the primary factor associated with Hsp70 induction in muscle of treadmill running rats[J]. *Acta Physiologica*, 2006, 187(4): 495—501.
- [15] Moraes-silva IC, De La Fuente RN, Mostarda C, et al. Baroreflex deficit blunts exercise training-induced cardiovascular and autonomic adaptations in hypertensive rats[J]. *Clinical and experimental pharmacology*, 2010, 37(3): 114—120.
- [16] Reznick RM, Zong H, Li J, et al. Aging-associated reductions in AMP-activated protein kinase activity and mitochondrial biogenesis[J]. *Cell Metabolism*, 2007, 5: 151—156.
- [17] Yoshimura A, Toyoda Y, Murakami T, et al. Glycogen depletion in intrafusil fibres in rats during short-duration high-intensity treadmill running[J]. *Acta Physiol Scand*, 2005, 185(1): 41—50.
- [18] Cornachione A, Cação-Benedini LO, Shimano MM, et al. Morphological comparison of different protocols of skeletal muscle remobilization in rats after hindlimb suspension[J]. *Scand J Med & Sci in sport*, 2008, 18(4): 453—461.
- [19] Jong-Oh Kim, Tae-Beom Seo, Jin-Hwan Yoon, et al. Effects of treadmill training on Axonal regeneration, Spinal Cord Motor Neuron, GAP-43 & GLUT-4 Protein Expression after sciatic nerve injury in the streptozotocin-induced diabetic rats[J]. *Int J Appl Sports Sci*, 2007, 19(1): 117—133.
- [20] Adaliene Ferreira, Thales Primola-Gomes, Zelia Menezes, et al. Chronic treadmill running affects adipose tissue metabolism in spontaneously hypertensive rats[J]. *Journal of professional exerc physiol*, 2010, 13(5): 9—18.
- [21] Hatice Kurdark, Sunay Sandikci. The effects of regular aerobic exercise on renal functions in streptozotocin induced diabetic rats[J]. *Journal of Sports Sci & Med*, 2010, 9(2): 294—299.
- [22] Halil Duzova, Yunus Karakoc, Memet Hanifi Emre, et al. Effects of acute moderate and strenuous exercise bouts on IL-17 production and inflammatory response in trained rats[J]. *Journal of Sports Sci & Med*, 2009, 8(2): 219—224.
- [23] Thomas DP, Marshall KI. Effects of repeated exhaustive exercise on myocardial subcellular membrane structures[J]. *Int J Sports Med*, 1988, 9(4): 257—260.
- [24] 侯莉娟, 刘晓莉, 乔德才. 大鼠游泳运动疲劳模型建立的研究[J]. *实验动物科学与管理*, 2005, 22(1): 1—3.
- [25] Ahmet Yildiz, Ercan Ozdemir. The effects of creatine long-term supplementation on muscle morphology and swimming performance in rats[J]. *J Sports Sci & Med*, 2009, 8(4): 516—522.
- [26] Gouvea HA, de Souza RA, Bezerra Inacio leao, et al. Electrophysiological and histological analysis of the anterior tibial muscle from rats submitted to aerobic training with swimming[J]. *Fit Perf J*, 2009, 8(1): 49—55.
- [27] Dos-Santos JW, de Mello MAR. Endurance swimming periodized training in rats[J]. *JEPonline*, 2010, 13(5): 29—43.
- [28] Marangon L, Gobatto CA, Mello MAR, et al. Utilization of an hyperbolic model for the determination of critical load in swimming rats[J]. *Med & Sci in sports and exerc*, 2002, 34: 149.
- [29] Raul Osiecki, Carlos Malfatti. Effect of chronic swimming on blood pressure and sodium pump of Hypertensive rats[J]. *JEPonline*, 2008, 11(5): 35—41.
- [30] Manchado FdeB, Gobatto CA, Voltarelli FA, et al. Non-exhaustive test for aerobic capacity determination in swimming rats[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2006, 31(6): 731—736.
- [31] 张勇, 李静先, 陈家琦, 等. 运动性疲劳状态下大鼠心肌线粒体内膜变化的研究[J]. *中国应用生理学杂志*, 1995, 11(2): 117—120.
- [32] 肖明珠, 郭庆芳. 动物运动性疲劳方法学研究之一——不同刺激方法对大鼠跑台运动疲劳及恢复糖代谢的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 1998, 17(4): 334—338.
- [33] 常芸, 袁箭峰, 祁永梅, 等. 运动心脏重塑与微损伤发生中的细胞凋亡现象[J]. *中国运动医学杂志*, 2003, 22(4): 344—349.
- [34] 池爱平, 熊正英, 陈锦屏. 补充不同剂量姜黄素对运动大鼠心肌和骨骼肌组织自由基损伤及力竭运动时间的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2006, 25(3): 342—343.
- [35] 李爱萍, 崔书强, 徐金成, 等. 高温环境下急性力竭运动对大鼠心肌 HSP70 及血浆心钠素的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2010, 29(2): 188—191.
- [36] 冯连世. 优秀运动员身体机能的评定方法[M]. 北京: 人民体育出版社, 2003. 109—111.
- [37] Janssen P. Lactate threshold training[J]. *Human Kinetics*, 2001.
- [38] Crewther B, Cronin J, Keogh J, et al. Possible stimuli for strength and power adaptation[J]. *Sports Med*, 2005, 35(11): 967—989.
- [39] Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, et al. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships[J]. *Eur J Appl Physiol*, 1997, 75(3): 193.
- [40] Fulvia De Barros Manchado, Gobatto CA. Maximal lactate steady state in running rats[J]. *JEP online*, 2005, 8(5): 29—35.