



# 常温环境递增负荷运动中人体核心体温预测

汪宏莉<sup>1</sup>, 陈涛<sup>2</sup>, 韩延柏<sup>1</sup>, 任雪<sup>3</sup>, 程杨<sup>1</sup>

**摘要:**目的:探讨常温环境人体运动中核心体温的预测方法,为预防运动型热损伤提供依据。方法:9名男性耐力性运动员在23℃、40%相对湿度的环境中进行递增负荷力竭自行车运动,起始负荷为100W,增加20W/10min,维持60转/分;连续监控核心体温、心率、血乳酸。结果:核心体温升高值与心率( $r=0.906$ )、血乳酸( $r=0.835$ )正相关(均 $P<0.001$ )。核心体温升高值的预测模型:线性方程为:核心体温升高值 $=0.008\times$ 心率 $+0.00035\times$ 心率 $\times$ 血乳酸 $-0.670$ ( $R^2=0.842$ ,  $P<0.001$ );二次曲线方程为:核心体温升高值 $=0.221-0.007\times$ 心率 $+6.899\times 10^{-5}\times$ 心率<sup>2</sup>( $R^2=0.827$ ,  $P<0.001$ )。结论:常温环境运动中人体的核心体温可应用心率和血乳酸进行预测。

**关键词:**核心体温;心率;血乳酸;预测

中图分类号:804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2015)01-0034-03

## Prediction of Core Body Temperature during a Load-incremental exercise in a Normal Temperature Environment

WANG Hongli, CHEN Tao, HAN Yanbai, REN Xue, CHENG Yang

(School of Human Sports Science, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, China)

**Abstract:** Objective: To explore a method of predicting core body temperature in a normal temperature environment in order to provide reference for preventing heat injury in exercise. Method: Nine male endurance athletes performed a load-incremental exercise to exhaustion on a cycle ergometer in a room with the temperature of 23℃ and the relative humidity of 40%. The exercise started with the load of 100W, which was increased by 20W every 10min at a pedaling cadence of 60rpm. During the experiment, the core body temperature, heart rate and blood lactic acid were monitored continuously. Result: The increased value of core body temperature correlates positively with heart rate ( $r=0.906$ ) and blood lactic acid ( $r=0.835$ ) (both  $P<0.001$ ). The predictive model of the increased value of core body temperature is as follows; Linear equation: increased value of core body temperature $=0.008\times$  heart rate $+0.00035\times$  heart rate $\times$  blood lactic acid $-0.670$  ( $R^2=0.842$ ,  $P<0.001$ ). Quadratic curve equation: increased value of core body temperature $=0.221-0.007\times$  heart rate $+6.899\times 10^{-5}\times$  heart rate<sup>2</sup> ( $R^2=0.827$ ,  $P<0.001$ ). Conclusion: In normal temperature environment, core body temperature can be predicted by heart rate and blood lactic acid during exercise.

**Key Words:** core body temperature; heart rate; blood lactic acid; prediction

核心体温(core body temperature)是指人体内脏器官的温度,安静时核心体温为37.2~37.6℃<sup>[1]</sup>。人体运动时代谢加快,骨骼肌做功而大量产热,如果产热超过向外环境中散热,体内热量蓄积使核心体温升高,当核心体温超过38℃时即出现运动性高核心体温<sup>[2]</sup>。运动性高核心体温是降低运动能力、导致运动性疲劳的重要原因,国外学者提出人体存在极限核心体温(critical core temperature),此时大脑的神经递质和神经活动阻断中枢神经系统控制骨骼肌因而终止运动,以避免机体受到致命的热损伤<sup>[3-4]</sup>。

核心体温在理论上最精确的代表值是肺动脉血的温度,但是无法采用无创伤的方法进行测定,因此在运动科

学领域中核心体温通常以直肠、食道及胃肠道的温度来表示<sup>[5]</sup>。直肠温度、食道温度的测定仅限于实验室研究,两种测定方法的可接受性也受到限制,如直肠温度测定时将测温探头插入外肛门括约肌10cm,食道温度测定时将测温探头通过口腔或鼻腔送入食道<sup>[6]</sup>。近十年,国外学者研发了遥测胃肠道温度的CorTempTM核心体温监测系统,运动员吞服胶囊式温度传感器(长径0.88cm,直径0.42cm),数据通过无线传输至外部存储器<sup>[7]</sup>,一台仪器可同时遥测并记录几十人的核心体温数据。该方法的接受性好,无感染的危险性,但是胶囊温度传感器的价格昂贵,难以在我国运动训练和比赛中推广使用。

收稿日期:2014-09-18

基金项目:2013年辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2013440)。

第一作者简介:汪宏莉,女,博士,教授。主要研究方向:运动生理学、运动医学。

作者单位:1.沈阳体育学院 运动人体科学学院,沈阳 110102;2.辽宁省体育科学研究所,沈阳 110179;3.上海体育科学研究所,上海 200030



探索通过常用生理、生化监控指标对运动员核心体温进行预测的方法,间接地监控运动员核心体温,对防止运动员发生运动型热损伤具有重要的意义。本研究以9名耐力性项目的大学生运动员为对象,描述常温环境递增负荷力竭自行车运动中核心体温、心率及血乳酸的关系,探讨核心体温的预测方法,为运动训练和比赛中采用简便、易实施、经济的方法监控核心体温提供依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

9名沈阳体育学院体育教育专业耐力性项目(中长跑)运动员自愿参加本研究,年龄(21.1±1.2)岁,训练年限(4.9±1.5)年,最大摄氧量(52.8±4.7) mL/kg/min。实验前介绍研究目的,签署知情同意书,讲解注意事项。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 实验环境

将实验室温度控制在(23±1)℃,相对湿度(40±2)%。

#### 1.2.2 运动方案

使用功率自行车(Monark 839E)进行递增负荷运动直至力竭,起始负荷为100 W,每10 min增加20 W,转速60转/min。

#### 1.2.3 实验流程

研究对象于上午7:30到达实验室,用37℃温水吞服CorTempTM人体核心体温传感器(HT150002, HQInc., Palmetto, Florida, USA),并佩戴Polar心率带;打开CorTempTM体温测试系统,监测核心体温和心率。调整车座后,在功率自行车座上静坐20 min,于9:30进行递增负荷运动,直至力竭。运动中禁止饮水。

#### 1.2.4 运动终点判定

(1)心率维持在180次/min以上,且2 min保持不变或变化较小(出现平台期);(2)主观感觉已达力竭即RPE等级为18~20;(3)经反复鼓励不能再继续坚持运动;(4)不能维持设立的转速。

#### 1.2.5 研究指标

(1)连续监控核心体温(20 s/次)(CorTempTM HT150016, HQInc., Palmetto, Florida, USA);(2)连续监控心率(20 s/次)(Polar Electro Oy, Kempele, Finland);(3)血乳酸(在运动前、运动20 min、运动40 min、力竭即刻、恢复期30 min采取指尖血测定)(Lactate Pro, Arkray, Kyoto, Japan);(4)RPE(Ratings of Perceived Exertion, Borg 6-20 scale)(在运动前、运动20 min、运动40 min、力竭即刻、恢复期30 min测定);(5)体重(运动前、力竭即刻)。

#### 1.2.6 统计分析方法

采用SPSS 16.0统计分析软件进行统计分析,数据描述以均数±标准差表示。分析方法包括相关分析,一元线性逐步回归分析(自变量引入模型 $P \leq 0.05$ ,剔除 $P > 0.06$ ),曲线估计(拟合二次方程)。

## 2 研究结果

### 2.1 力竭时主要指标情况

9名研究对象力竭时,运动时间为(63.78±3.48) min,最大功率为(219.56±6.91) W,最大负荷/体重为(2.93±0.36) W/kg;核心体温为(38.69±0.40)℃,核心体温升高(1.32±0.32)℃;心率为(187.56±8.20)次/分;RPE为(18.11±1.54);血乳酸为(6.74±1.31) mmol/L;脱水量占体重百分比为(1.35±0.19)%。

### 2.2 核心体温和心率监控示例

以研究对象之一(×××,运动67 min)实验中核心体温和心率监控的原始数据示例。安静时核心体温和心率均处于稳定状态;运动后核心体温和心率均随负荷强度的增加而呈升高趋势,力竭时核心体温为39.61℃,心率为197次/min;恢复期心率立即降低,而核心体温继续升高,在恢复期5 min后开始降低(见图1)。

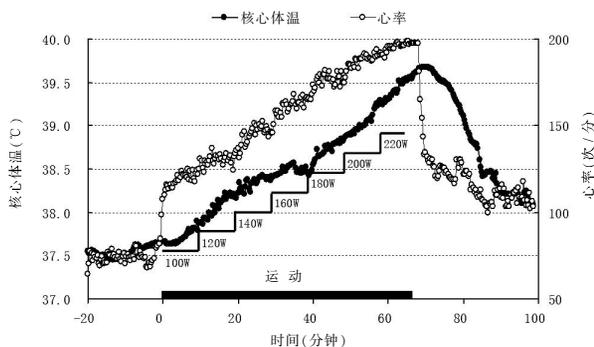


图1 ×××核心体温和心率监控的原始数据示例

Figure 1 An Example of the Original Data of Core Body Temperature and Heart Rate Monitoring

### 2.3 应用线性回归模型预测核心体温升高值

核心体温升高值与心率( $r=0.906, P < 0.001$ )及核心体温升高值与血乳酸( $r=0.835, P < 0.001$ )的直线相关关系具有统计学意义。以核心体温升高值为因变量,以心率、血乳酸、心率与血乳酸的交互作用(心率×血乳酸/100)为自变量进行线性逐步回归分析。结果显示,核心体温升高值可以通过心率、心率与血乳酸的交互作用进行预测,线性回归方程有统计学意义( $R^2=0.842, \text{adjusted } R^2=0.833; F=88.185, P < 0.001$ )。回归方程为:核心体温升高值(℃)=0.008×心率(次/min)+0.00035×心率(次/min)×血乳酸(mmol/L)-0.670(见表1)。

表1 核心体温升高值的线性回归分析

Table I Linear Regression Analysis of the Increased Value of Core Body Temperatures

项目	回归系数	标准误差	标准化回归系数	t值	P值	效果量
常数	-0.670	0.170	-	-3.945	0.000	0.320
心率	0.008	0.002	0.635	4.349	0.000	0.364
心率×血乳酸	0.035	0.016	0.308	2.108	0.043	0.119



## 2.4 应用曲线模型预测核心体温升高值

使用每 20 s 记录一次的核心体温和心率原始数据,从安静至力竭即刻的数据制作散点图,提示核心体温升高值与心率存在曲线关系(见图 2)。

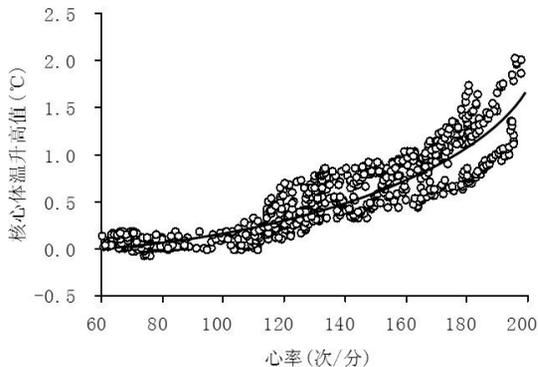


图 2 核心体温升高值与心率的曲线关系

Figure 2 Curve Relationship between the Increased Value of Core Body Temperature and Heart Rate

应用曲线估计的方法拟合二次方程,结果显示核心体温升高值与心率呈曲线关系( $R^2=0.827$ ;  $F=1813$ ,  $P<0.001$ ), 预测方程为: 核心体温升高值( $^{\circ}\text{C}$ )= $0.221 - 0.007 \times \text{心率} + 6.899 \times 10^{-5} \times \text{心率}^2$ 。

## 3 分析与讨论

本研究在我国首次采用美国 CorTempTM 人体核心体温传感器连续监控运动中核心体温,并提出应用常用生理、生化指标预测运动中核心体温,以预防运动训练和比赛中运动型热损伤的观点。运动型热病包括运动性肌肉痉挛、热衰竭和运动型中暑,常发生于大强度或长时间的运动训练和比赛中(如自行车、马拉松和足球等)。热衰竭和运动型中暑在相对低温的环境下也能发生,因为人体在大强度或长时间的运动中,内生产热过快、过多,核心体温急速升高甚至超过  $40^{\circ}\text{C}$ ,引起体温调节系统衰竭,甚至危及生命<sup>[8]</sup>。然而常温或较低温度环境下高核心体温的危害总是被教练员、队医和运动员所忽视<sup>[9]</sup>,因此对于耐力性项目运动员在常温环境的运动训练和比赛过程中防止核心体温过高,并将核心体温控制在极限体温以下,是体育科学领域急需解决的问题。

### 3.1 核心体温与心率的关系

本研究结果表明,运动中核心体温升高值与心率呈高度的正相关关系,在直线回归方程中,心率的标准化回归系数为 0.635,效果量为 0.364,说明心率是预测运动中核心体温升高值的良好指标;此外,二次曲线拟合的结果表明,仅使用心率一个指标预测核心体温升高值的回归平方和即占总回归平方和的 82%。可见,心率是预测运动中核心体温的重要指标。

人体运动时肌肉做功而需要大量的血液运送氧气,同时肌肉做功产生热量是安静时的 10~20 倍,其中 70% 以上热能要通过血液输送到体表而散放到外环境中以热平衡,体内有限的血液在运动需要提供氧气和皮肤散热作用之

间进行竞争时,心血管系统的负担增大,重新分配全身的血流量,即参与外周皮肤血液循环的血流量增大,心内血容量减小,每搏输出量减少,导致心率代偿性升高<sup>[9]</sup>。此外,人体的核心体温和心率受神经—体液调节因素(甲状腺激素、肾上腺激素等)的影响。核心体温升高时,甲状腺激素直接作用于心肌,促进肌质网释放  $\text{Ca}^{2+}$ ,使心肌收缩力增强,心率加快;同时肾上腺激素作用于心肌、传导系统和窦房结的  $\beta_1$  受体,加强心肌收缩性,加速传导,加速心率,提高心肌的兴奋性<sup>[10]</sup>。

心率是在运动训练和比赛中最常采用的运动强度监控指标,而且 Polar 团队心率训练系统等的使用能进行 20 名以上运动员心率的实时监控。在监控运动员心率的同时,可应用本研究中的直线或二次曲线回归方程输入 Excel 软件,间接地推测运动员的核心体温。根据本研究结果,运动员安静时核心体温为  $(37.37 \pm 0.27)^{\circ}\text{C}$ ,当预测运动员核心体温升高  $1.0^{\circ}\text{C}$  以上时即发生运动性高核心体温,需要根据具体情况采取降体温的应对措施。

### 3.2 核心体温与血乳酸的关系

本研究结果表明,运动中核心体温升高值与心率呈高度的正相关关系,在预测核心体温升高值的直线回归方程中,由于血乳酸与心率存在多重共线性而在变量筛选时被剔除,但是血乳酸与心率的交互作用进入回归方程,其标准化回归系数为 0.308,效果量为 0.119,说明血乳酸与心率的交互作用能够预测运动中核心体温升高值,但是预测效果比心率差。

核心体温与血乳酸水平有关。人体在安静状态,血乳酸水平随着直肠温度的升高而升高<sup>[11]</sup>。人体在运动中随着体温的升高,交感神经的兴奋性明显加强,血液重新分布,由于运动肌肉的血流量下降,氧的含量降低,使有氧代谢的比例下降,导致血乳酸浓度升高,以至发生乳酸堆积<sup>[12]</sup>。血乳酸水平与运动方式、运动强度及运动的持续时间等多方面的因素有关,因此在实际中要考虑到上述因素的影响,可参考本研究的预测方法,建立特定的预测核心体温的回归模型。

## 4 结论

常温环境人体运动中的核心体温可以应用心率和血乳酸进行预测,以心率和血乳酸进行预测的直线回归方程,及以心率进行预测的二次曲线回归方程的预测效果均很好。血乳酸的测定具有一定的创伤性,推荐使用二次曲线方程以心率对核心体温升高值进行预测。

## 5 建议

本研究中的大学生运动员未达到优秀耐力性项目运动员的训练水平,所能够耐受的核心体温较低,研究的结果具有一定的局限性。今后要在不同环境温度下,针对国家队优秀耐力性运动员,建立有针对性的核心体温预测方程,以指导运动训练和比赛的实践。

致谢:本研究在沈阳体育学院国家体育总局冬季运动项目技术诊断与机能评定重点实验室完成。感谢吴松林、谢承红及赵平老师的支持与配合。(下转第 48 页)



- [9] 仓恒弘彦. 慢性疲劳症候群[J]. *Biotherapy*, 2006; 20(1):1-5.
- [10] 王庆华, 刘化侠, 许红梅, 杨新芳, 周希环. 慢性疲劳综合征诊断及预防[J]. *国外医学(护理学分册)*, 2005, 07:369-372.
- [11] Fulcher KY, White PD. (1997). A randomised controlled trial of graded exercise therapy in patients with the chronic fatigue syndrome [J]. *British Medical Journal*. 314: 1647-1652.
- [12] 姚大志, 张全志. 慢性疲劳综合征的基础研究及展望[J]. *鸡西大学学报*, 2009, 01:152-154.
- [13] Lloyd AR, Hickie I, Boughton CR, Spencer O, Wakefield D. (1990). Prevalence of chronic fatigue syndrome in an Australian population[J]. *The Medical journal of Australia*. 153(9):522-528.
- [14] 邢震宇, 林小美. 有氧运动改善慢性疲劳综合征的生物学机制[J]. *浙江体育科学*, 2008, 05:124-126.
- [15] 段功香. 慢性疲劳综合征研究新进展[J]. *护理研究(下旬版)*, 2005, 28:9-11.
- [16] David A, Pelosi A, McDonald E, Stephens D, Ledger D, Rathbone R, et al. (1990). Tired, weak, or in need of rest: fatigue among general practice attenders[J]. *British Medical Journal*. 301(6762):1199-1202.
- [17] Sharpe M, Hawton K, Simkin S, Surawy C, Hackmann A, Klimes I, et al. (1996). Cognitive behaviour therapy for the chronic fatigue syndrome: a randomized controlled trial[J]. *British Medical Journal*. 312(7022):22-26.

(责任编辑:何聪)

(上接第 36 页)

**参考文献:**

- [1] Rutty G N. Essentials of autopsy practice: Innovations, Updates and Advances in Practice[M/OL]. Springer Verlag London, 2013:37-38. <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-0-85729-519-4>.
- [2] The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences. (1987). Glossary of thermal physiology[J]. *Pflugers Arch*, 410(4):567-578.
- [3] Nybo L. (2008). Hyperthermia and fatigue[J]. *J Appl Physiol*, 104(3):871-878.
- [4] Hasegawa H, Meeusen R, Takatsu S, et al. (2008). Exercise performance in the heat-possible brain mechanism and thermoregulation strategies[J]. *Adv Exerc Sports Physiol*, 13(4):81-92.
- [5] 赵杰修, 周萍. 人体体温测定方法及其在体育科学领域的应用[J]. *中国运动医学杂志*, 2012, 31(8): 49-753.
- [6] Lim CL, Byrne C, Lee JK. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings[J]. *Ann Acad Med Singapore*, 37(4):347-353.
- [7] Kolka MA, Levine L, Stephenson LA. (1997). Use of ingestible telemetry sensor to measure core temperature under chemical protective clothing[J]. *J Therm Biol*, 22(4):343-349.
- [8] Armstrong L E, Casa D J, Millard-Stafford M. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 39(3):556-572.
- [9] 陈涛, 刘晓丽. 体温升高对身体运动机能的影响及其应对措施[J]. *辽宁体育科技*, 2009, 31(1):21-22.
- [10] 陈武宁, 毛晓荣, 刘勇. 运动前后神经传导速度与体温、心率变化的相关性分析[J]. *四川生理学杂志*, 1995, 17(3):24-26.
- [11] 张继之, 刘爱玲, 刘文彩. 低温体外循环术后血乳酸水平与体温相关性临床研究[J]. *齐鲁护理杂志*, 2009, 15(16):13-14.
- [12] 肖国强, 石河利宽. 渐增负荷运动时不同环境条件对血乳酸浓度、血乳酸闭值和血乳酸开始堆积的影响[J]. *北京体育大学学报*, 1998, 21(2):11-14.

(责任编辑:何聪)