

·运动人体科学·

高中男生“阳光长跑”个体无氧阈心率回归方程的建立

王国军, 刘亚, 刘石军

(湖南工业大学 体育学院, 湖南 株洲 412000)

摘 要: 旨在通过实验研究建立高中生“阳光长跑”个体无氧阈心率回归方程, 使每个学生可以获得个体适宜负荷强度, 并以此控制跑速。第 1 阶段通过文献初选, 再通过专家问卷法对初选指标做进一步筛选, 然后对确定的指标进行实验测试, 以无氧阈心率为因变量, 筛选出的指标为自变量进行回归建立个体无氧阈回归方程; 第 2 阶段用回归方程计算的无氧阈心率与实测无氧阈心率进行配对样本 t 检验, 进行回代检验; 第 3 阶段以回归方程计算出的无氧阈心率作为负荷强度进行为期 12 周训练, 以检验实践应用效果。结果显示: (1) 实验对象推测值与实际观察值经配对 t 检验, 结果显示无显著性差异 ($P>0.05$)。将推测值与实际观察值进行相关分析再次应证其一致性较高 ($r=0.889$, $P<0.001$)。 (2) 12 周训练后, 实验组前后 VO_{2max} 比较有显著提升 ($P<0.01$), 对照组 VO_{2max} 前后无显著性差异 ($P>0.05$), 实验组与对照组 VO_{2max} 比较, 实验组显著高于对照组 ($P<0.01$)。结果表明: 高中男生“阳光长跑”活动推荐使用个体无氧阈心率作为负荷强度监控指标, 个体无氧阈心率回归方程为: $Y=111.537+6.076x_1-0.2821x_2-0.569x_3+9.944x_4$ (其中, x_1 为年龄, x_2 为身高, x_3 为基础心率, x_4 为体表面积)。

关 键 词: 运动生理学; 无氧阈心率; 靶心率; 有氧耐力; 回归方程; 阳光长跑; 高中生
中图分类号: G804.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2019)06-0132-07

Establishment of an individual anaerobic threshold heart rate regression equation for high school boys going for “Sunshine Long Distance Run”

WANG Guojun, LIU Ya, LIU Shi-jun

(College of Physical Education, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: The purpose is to establish an individual anaerobic threshold heart rate regression equation for high school boys going for “Sunshine Long Distance Run” via experimental study, so that every student can get an individually suitable load intensity, and therefore control his/her running speed. In phase one, the authors preliminarily selected the indexes through literature, and further screened the preliminarily selected indexes by means of expert questionnaire, and then carried out experimental test on the determined indexes, used anaerobic threshold heart rate as an independent variable and the screened indexes as independent variables for regression, and established an individual anaerobic threshold heart rate regression equation; in phase two, the authors carried out paired samples t test on the anaerobic threshold heart rate calculated by the regression equation and the anaerobic threshold heart rate measured, and carried out back substitution test; in phase three, the authors let the testees have 12-week training by using the anaerobic threshold heart rate calculated by the regression equation as the load intensity, so as to check the practical application effect. The results showed the followings: 1) the results of the paired t test on the predicted values and actually observed values of the testees showed no significant different ($P>0.005$); the authors carried out correlation analysis on the predicted values and actually observed values, and again verified that their consistency was high ($r=0.889$, $P<0.001$); 2) after the 12-week training, the VO_{2max} of the experiment group increased significantly as compared to that before the

收稿日期: 2019-07-09

基金项目: 国家社会科学基金教育学青年课题 “中学生阳光长跑负荷强度控制与调整体系研究” (CLA140162)。

作者简介: 王国军(1981-), 男, 副教授, 博士, 硕士研究生导师, 研究方向: 人体体质与运动能力的健康适应。E-mail: Wgj_1213@aliyun.com

training ($P<0.01$), the VO_{2max} of the control group had no significant difference as compared to that before the training ($P>0.05$); in VO_{2max} comparison, the experiment group's was significantly higher than the control group's ($P<0.01$). The results indicated the followings: using individual anaerobic threshold heart rate as a load intensity monitoring index is recommended for the activity of high school boys going for "Sunshine Long Distance Run"; the individual anaerobic threshold heart rate regression equation is: $Y=111.537+6.076\times x_1-0.2821\times x_2-0.569\times x_3+9.944\times x_4$ (where x_1 is age, x_2 is height, x_3 is basic heart rate, x_4 is body surface area).

Key words: sports physiology; anaerobic threshold heart rate; target heart rate; aerobic endurance; regression equation; Sunshine Long Distance Run; high school student

2007年为实现党中央提出的通过5年时间使学生体质健康水平明显提高的工作目标,教育部、国家体育总局、共青团中央三部委共同启动《全国亿万学生阳光体育冬季长跑活动》。随后几年中,三部委又多次发布有关“阳光长跑”通知并对学生长跑距离提出具体要求:初中生每天至少跑1500m,高中生与大学生每天至少跑2000m。然而多年的“阳光长跑”活动并未能有效地扭转学生体质健康水平整体下降的趋势。当全国中学生都轰轰烈烈地“阳光长跑”时,他们并不知道长跑是讲究强度的且每个人都有自己适宜的强度;更不知道自己适宜的强度是多少?又怎样控制这个强度?因而,目前全国亿万学生只能依照自己的习惯节奏“放羊”式地长跑。

青少年体力活动的强度、量、频率与体质健康存在显著的“剂量-效应”关系,其中强度具有核心意义^[1-2]。缺乏有效负荷强度的运动难以使人体机能产生适应性提高。依据运动训练科学理论,“阳光长跑”的强度应该是生理负荷,且应为训练效果最佳的负荷,并因人而异。因此,遵循生理负荷强度是“阳光长跑”得以成为科学健身方式的核心所在。而目前无奈之下的“放羊”式长跑严重削弱了其对于学生体质健康应有的促进效果,甚至打击了学生对长跑的积极性,降低了学生对长跑的乐趣,使得这一本意为促进学生体质健康水平的重大举措在实施中流于形式。

本研究旨在通过实验研究建立高中男生“阳光长跑”个体无氧阈心率回归方程,使每个学生可以获得较为科学的个体运动心率,并寄望未来实践应用时利

用目前已日益大众化的运动手环等心率监控设备,使得以心率为手段的强度控制模式成为“阳光长跑”实践中的现实选择,最终达到促进学生体质健康的目的。

1 研究对象与方法

1.1 专家调查法

对经文献资料初选的指标经10名专家(均是博士、高级职称且为该领域的行业专家)打分进行筛选,并根据专家意见和讨论可增加指标。评定分值为1~5分,分别代表非常不合理、不太合理、合理、较合理、非常合理5个等级。判定标准为凡指标评分均值小于3分者视为不太合理,去掉;标准差大于1者,表明专家评分离散程度过大,即意见过于分歧,视为争议指标,并将评分时各个专家意见及理由反馈给各个专家,协商无果则去掉该指标。

1.2 实验法

1) 实验对象。

研究分3个阶段进行,共选取383人次(第1阶段依据随机原则从某高中3个年级各选出100男生,共计300人(后因各种原因3名退出,有效样本297人);第2阶段在不重复抽样原则下随机抽取21人(因1人退出,有效样本20人)进行回代检验;第3阶段为实训阶段,考虑到一年级年龄最小,稳定性不如二三年级,三年级又因忙于高考时间受限,最终以整群抽样的方式抽取该高二年级一个班级为实验组,另外一个班级为对照组,其中实验组31人,对照组34人。实验对象基本情况见表1。

表1 实验对象基本情况($\bar{x} \pm s$)

实验阶段	n/人	年级或组别	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg
第1阶段	297	高一	15.8±0.41	168.2±6.5	59.8±5.5
		高二	17.3±0.52	168.4±5.3	61.5±7.2
		高三	18.2±0.42	173.2±5.0	63.0±6.1
第2阶段	21	混合年级	17.3±1.1	170.6±5.9	61.3±6.1
第3阶段	31	实验组	17.4±0.48	167.8±4.6	60.8±7.7
	34	对照组	17.2±0.29	167.5±6.1	60.5±6.9

实验对象采取招募方式实行自愿报名,先填写实验对象个人信息表以及知情同意书,排除患有各种疾病的实验对象。实验对象选取要求为:PAR-Q 问卷回答皆为“否”;安静心率为 60~100 次/min,安静时血压 < 140/90 mmHg;无身体残疾、无心脏病家族史等影响生命风险较高的遗传疾病;自愿参加实验。

2) 实验指标及测试方法。

(1) 身体形态指标。

身体形态指标包括身高、体质量、BMI、体脂率等。身高、体质量按照国民体质测试方案进行。体成分采用韩国 Inbody 7.0 体成分测定仪。

(2) 基础心率(BHR)。

使用 Polar 表测量实验对象每天清晨在静卧、空腹、清醒状态的心率,并连续记录 7 天,计算一周的平均值即为基础心率。测试期间,要求实验对象正常休息,注意饮食。

(3) 最大摄氧量(VO_{2max})、通气无氧阈(VT)。

本研究采用逐级递增负荷运动方式在室内跑台进行最大摄氧量和无氧阈测试。实验设备采用 Run 7410 专业跑台(意大利 Runner 公司)、Metalyzer 3B 气体分析仪(德国 Cortex 公司)、Polar 表(德国 Cortex 公司)。具体程序为:前 2 min 将跑台速度增至 4 km/h,坡度为 0° ,让实验对象尽可能地迈开步子走动起来。第 4 min 时将跑速增至 7 km/h,之后以每 2 min 递增 1 km/h 的速度(目的在于获得通气无氧阈及对应的速度),直至速度到 12 km/h(过去的研究已证实,普通高中生超过 12 km/h 时,会出现步态不稳且难以跟上节奏,因此选此速度为上限)。此时,以每分钟 1.5% 的幅度增加跑台坡度,直至力竭,获得最大摄氧量绝对值与相对值^[3-4]。运动中后期不时通过主观感觉评分表(RPE)询问实验对象主观感觉。最大摄氧量判定标准参考《运动生理学》^[9]执行。

(4) 无氧阈心率。

VT 判断标准:①VE, VCO_2 非直线增加的拐点;②VE/ VO_2 突然增大,VE/ VCO_2 不下降;③呼吸商出现突然增高的拐点^[4]。整个 VT 判定在气体分析仪自带软件中结合人工观察和手动修正完成。获取数据有 VT 值、VT 占 VO_{2max} % 以及根据采样时间序列寻找出的对应无氧阈心率(达到 VT 时对应的心率)。

(5) 体表面积(BSA)。

体表面积依据胡咏梅^[6-7]计算公式计算: $BSA=0.0071H+0.0133W-0.1971$ 。H 身高,单位 cm;W 体质量,单位 kg。

(6) 基础代谢率(BMR)。

基础代谢率依据公式^[8]计算: $BMR=66.47+13.57W$

$+5.00H-6.76y$ 。BMR 单位 kcal/d;H 身高,单位 cm;W 体质量,单位 kg;y 年龄,单位为岁。

3) 实验方案。

实验分 3 个阶段进行:第 1 阶段目的在于建立无氧阈心率的个体回归方程;第 2 阶段目的在于回代检验所建回归方程可靠性;第 3 阶段在于检验回归方程推算的个体无氧阈强度实践应用时是否有效。

第 3 阶段为实践检验阶段。实验组与对照组实验前测试 VO_{2max} 、安静心率等作为耐力训练效果的判定指标。实验组每周在不同日期内完成 3 次 2 000 m 跑。依据运动训练原则,全程分 3 个期间完成:前期 350 m(占全程 17.5%)为进入状态期,要求负荷强度逐渐过渡到靶心率跑速;中期 1 500 m(占全程 75.0%)为稳定期,也是阳光长跑的核心强度,要求以回归公式推算出的“个体无氧阈心率”作为靶心率强度完成;后期 150 m(占全程 7.5%)为恢复期,以慢跑为主。另外,2 000 m 正式跑前的准备活动和结束后的放松活动另行安排。整个心率采用芬兰 Polar 表监控;对照组无特殊要求,按照常规完成体育课,业余体育锻炼不做任何要求。经 12 周训练结束后,测试 VO_{2max} 、安静心率等指标。

4) 实验条件控制。

(1) 环境控制:室内测试均在室温为 $24^\circ \sim 8^\circ$ 、湿度为 50%~60% 的室内进行。温湿度均符合最大摄氧量以及无氧阈测试要求。

(2) 要求受试者着轻便透气的运动装参加测试。

(3) 受试者跑台适应:让受试者先适应跑台至少 10 min 以上,直到感觉良好,脚步稳健,能适应跑速的递增和递减,不紧张为止。

(4) 实验终止指征参照运动生理学教材执行^[5]。

1.3 数理统计法

所有数据采用 SPSS 19.0 软件包进行处理。无氧阈心率回归方程采用线性回归模型;回代检验中,运用回归方程推测结果与实验获取结果之间的均值检验采用配对样本 t 检验;第 3 阶段,实验组与对照组实验前样本的差异性比较采用独立样本 t 检验,实践应用效果前后比较采用配对样本 t 检验;指标相关性采用积差相关法处理。选取 $P < 0.05$ 为显著性水平。

2 结果与分析

2.1 个体无氧阈心率回归方程的建立

1) 指标的理论初选与专家问卷复选结果。

适宜运动负荷即指有效运动负荷。阳光长跑对高中生要求的是 2 000 m 跑,属发展有氧耐力素质。经文献梳理,过往研究一致认为无氧阈对应心率下的强度是中长跑的适宜负荷强度,其理论依据是:用个体

无氧阈强度进行耐力训练,既能使呼吸、循环系统机能达到较高水平,最大限度地利用有氧供能,同时又能在能量代谢中使无氧代谢的比例减少到最低限度。因此,无氧阈心率可能与个人体质、呼吸、循环系统机能、身体形态、能量消耗、基础代谢等有关^[7, 9-12]。鉴于未来实际应用时的便捷性、易操作性,排除类似 VO_{2max} 确定法外,初选指标为:年龄、身高、体质量、腰围、体表面积、体脂率、BMI、安静心率、基础心率、基础代谢率、卡尔森运动强度心率、安静时心率

修正百分比法推算心率,即运动时心率=安静时心率+60%(最大心率-安静时心率)。经专家评分,去掉了卡尔森运动强度心率(1.2±0.3)分、安静时心率修正百分比法推算心率(1.4±0.2)分,理由是这种同类推算公式再去预测靶心率,可能降低有效性。其余指标均符合均值大于3且标准差小于1的要求。

2)第1阶段实验对象各指标描述性统计结果。

实验对象各指标描述性统计结果详见表2。

表2 高中男生各指标测试结果($\bar{x} \pm s$)

指标	一年级	二年级	三年级
基础心率/(次·min ⁻¹)	81.4±4.6	78.5±3.2	78.0±4.4
体脂率/%	17.2±6.4	14.5±3.2	14.9±3.9
安静心率/(次·min ⁻¹)	95.6±13.9	88.0±11.3	81.0±11.7
基础代谢率/(kcal·d ⁻¹)	1 598.7±93.4	1 586.7±119.8	1 645.1±92.0
体表面积/m ²	1.779±0.100	1.776±0.128	1.852±0.099
BMI	20.8±1.9	20.5±1.6	20.5±1.5
VO_{2max} /(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	32.2±5.3	35.5±4.3	43.7±5.9
VT/(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	23.2±5.3	24.3±5.7	31.1±7.1
VT/%	70.7±12.1	66.3±16.1	68.2±15.4
VT心率/(次·min ⁻¹)	132.3±3.7	139.1±5.6	153.2±8.5
VT跑速/(km·h ⁻¹)	8.76±1.5	9.46±1.6	9.55±1.5

3)模型汇总。

本研究中各个自变量与因变量之间的复相关系数 $R=0.897$,判断系数 $R^2=0.805$ 。 R 作为衡量回归方程整体的拟合度指标,其作用为表达因变量与所有自变量之间的总体关系。拟合优度是指回归直线对观测值的拟合程度, R^2 即可决系数(亦称确定系数)是度量拟合优度的统计量。 R^2 的取值范围是[0, 1],越接近1,说明回归直线对观测值的拟合程度越好;反之拟合程度越差。本研究中 R^2 的取值为0.805,接近1,因此回归直线对观测值的拟合程度较好。

4)回归方差分析。

通过对回归方程进行方差分析得知,平方和为

8 140.646,df=4,均方为2 035.162, $F=139.197$, $P<0.001$,说明本回归方程具有显著性,即因变量和自变量之间有线性回归关系。

5)回归系数。

进行回归散点图时,有4名学生数据异常,被去掉。同时,回归方程计算时SPSS系统直接排除掉自变量体重、体脂率和基础代谢率。

根据表3可知,根据非标准化系数表以及 t 检验结果,拟合结果是: $Y=111.537+6.076x_1-0.2821x_2-0.569x_3+9.944x_4$ (其中, x_1 为年龄, x_2 为身高, x_3 为基础心率, x_4 为体表面积)。

表3 回归系数表

模型	未标准化的回归系数		t	Sig	共线性统计量	
	B	标准误			容差	VIF
(常量)	111.537	32.837	3.397	$P<0.001$		
年龄	6.076	1.008	6.026	$P<0.001$	0.410	2.436
身高	-0.2821	0.212	-3.334	$P<0.05$	0.292	3.425
基础心率	-0.569	0.167	-3.413	$P<0.001$	0.437	2.287
体表面积	9.944	10.802	2.670	$P<0.05$	0.310	3.223

6)多元回归模型自变量之间共线性检验。

容差和方差膨胀率(VIF)是反应共线性的关键指

标之一,如果某变量容差小于0.1,就表明存在共线性问题。方差膨胀率(VIF)是容差的倒数,膨胀率越大共

线性问题越严重。本研究中,容差均大于 0.1(见表 3),而 VIF 也在可接受范围($VIF < 10$ 为可接受范围,若大于 10 则通常认为不可接受),基于这点说明此模型不存在严重的共线性问题。

另外,若出现多个维度的特征值等于 0,就可能存在共线性问题;而某个条件指数大于 30,也有可能

存在共线性问题。由表 4 可知,本回归方程中特征值未出现多个维度的特征值等于 0,且条件索引也均小于 30,这表明不存在共线性问题。

综上所述,回归方程为 $Y=111.537+6.076x_1-0.2821x_2-0.569x_3+9.944x_4$ 成立。

表 4 共线性诊断明细表¹⁾

维数	特征值	条件索引	方差比例				
			常量	年龄	身高	基础心率	体表面积
1	4.987	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.038	14.443	0.00	0.00	0.04	0.21	0.01
3	0.016	18.544	0.01	0.01	0.17	0.01	0.24
4	0.014	23.834	0.39	0.39	0.76	0.69	0.22
5	0.008	25.260	0.60	0.60	0.03	0.09	0.53

1)因变量:无氧阈心率

2.2 回代检验

高中男生无氧阈心率推测值的计算: $Y=111.537+6.076x_1-0.2821x_2-0.569x_3+9.944x_4$ (其中, x_1 为年龄, x_2 为身高、 x_3 为基础心率, x_4 为体表面积)。例如回代检验实验中的某一实验对象:其年龄、身高、体质量、基础心率分别为 18 岁、168 cm、60 kg、65 次·min⁻¹,体表面积根据公式计算等于 1.84 164 m²。则利用该公式可以推算其无氧阈心率为 154 次·min⁻¹。

回代检验中实验对象的测得值:年龄(17.3 ± 1.1)岁、身高(170.6 ± 5.9) cm,体质量(61.3 ± 6.1) kg、基础心率(78.9 ± 6.5)次·min⁻¹。无氧阈心率观测值(142 ± 12)次·min⁻¹,无氧阈心率推测值(140 ± 11)次·min⁻¹,实验对象推测值与实际测出结果进行配对 *t* 检验,结果显示无显著性差异($t=0.549, P>0.05$),这表明推测值与实际观测值之间基本吻合。将推测值与实际观察值进行相关分析再次证明其一致性较高($r=0.889, P<0.001$)。

2.3 实践应用效果检验

经过 12 周训练,实验前后各相关指标见表 5。

表 5 实验前后各相关指标($\bar{x} \pm s$)

组别	实验前后	基础心率/ (次·min ⁻¹)	VO _{2max} / (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
对照组	实验前	78.9±3.2	34.9±4.8
	实验后	78.6±3.3	35.2±6.7
实验组	实验前	79.2±3.4	34.7±4.9
	实验后	79.3±3.1	38.8±6.5 ¹⁾²⁾

1)与实验前比较, $P<0.01$; 2)与对照组比较, $P<0.01$

实验前,经独立样本 *t* 检验,实验组与对照组无论是心率、VO_{2max} 还是无氧阈心率均无显著性差异

($P>0.05$),说明实验前实验组与对照组处于同一水平。12 周训练后,基础心率实验组和对照组无论是自身前后还是相互比较均无显著性差异($P>0.05$)。VO_{2max} 实验组前后对比有显著提升($P<0.01$),对照组前后无显著性差异($P>0.05$),实验组与对照组对比,实验组显著高于对照组($P<0.01$)。无氧阈心率对照组前后无显著变化($P>0.05$),实验组有所增加且具有统计学意义($P<0.05$),实验组高于对照组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 本回归方程的有效性

为验证回归方程的有效性,本研究另外筛选了 20 名受试者进行回代检验,即对推算个体无氧阈心率值与实测值进行比较,推测值与实测值并无显著差异($t=0.549, P>0.05$),且相关检验时推测值与实际观察值高度相关($r=0.889, P<0.001$),再次证明其一致性较高,说明回归方程有效。

为进一步确定实际效果,研究进行了为期 12 周的实验干预,经过 12 周训练,反映人体耐力水平的 VO_{2max} 实验组有显著提升,且具有统计学显著意义($P<0.01$),而对照组均值虽有所增加但不具有统计学显著意义($P>0.05$)。该结果表明:利用推算出来的无氧阈心率值作为训练强度控制负荷有效,要取得较好的效果,应进行科学锻炼。

12 周训练后,基础心率实验组和对照组无论是自身前后还是相互比较均无显著性差异($P>0.05$)。从研究结果来看,此次 12 周训练并未引起心率出现显著性变化,可能原因在于心率是一个较为稳定的指标,短期内适宜生理负荷强度不足以引起其发生显著变化,因

此还需要一个相对较长的周期才可能取得较为理想的预期效果。

无氧阈强度负荷下的运动锻炼对有氧耐力的价值已获得一致公认,运动训练理论明确指出,个体无氧阈强度是发展有氧耐力训练的最佳强度,用个体无氧阈强度进行耐力训练,既能使呼吸、循环系统机能达到较高水平,最大限度地利用有氧供能,同时又能在能量代谢中使无氧代谢的比例减少到最低限度^[5]。在本研究中,12周训练也再次验证无氧阈心率强度是最合适的生理负荷剂量。高中男生无氧阈强度对应的心率(无氧阈心率)一到三年级为132.3、139.1、153.2次·min⁻¹,一二三年级综合平均无氧阈心率142次·min⁻¹,与以往研究结果基本一致^[13-15]。从上述论证结果与实际效果来看,以回归方程推算出的无氧阈心率在实际应用中有效。

3.2 与过往同类研究对比的优越性

适宜的运动强度是保证运动科学性、安全性及有效性的重要因素,通常用VO_{2max}百分比、METS或者最大心率百分比表示。研究表明:亚极限负荷运动强度下,心率与耗氧量呈线性相关,即运动可以用心率来监控运动强度^[16-17]。因此,目前普遍认同和推崇的运动强度控制最佳方法为靶心率法,其中最为广泛使用的推算法有最大心率百分比法、心率储备法以及简易公式计算法。最大心率百分比法即首先运用年龄预测最大心率(HR_{max}=220-年龄),然后用最大心率的60%~80%作为个体靶心率;心率储备法的计算公式是THR=(HR_{max}-HR_{rest})×(ED)+HR_{rest};简易公式计算靶心率法,即没有运动习惯者的,用公式“170-年龄”计算,有运动习惯者用“180-年龄”计算。前人研究指出上述3种推算方法存在缺陷:(1)基本都只围绕年龄和心率两个因素进行回归运算,忽略性别、体质差异^[18]。运动靶心率不仅与年龄、性别有关,身体形态、基础心率等因素同样是值得考虑的指标^[19]。(2)即使像最大心率用“220-年龄”考虑到年龄因素,但实践应用时却无法避免对年龄偏大的老人低估、对年龄偏小的少儿出现高估情况^[18]。(3)过往研究中得到的靶心率集中在一个跨度较大的区间^[13],如刘洪珍^[14]指出以VO_{2max}的50%~85%或HR_{max}的60%~90%作为运动健身的适宜强度;万文君报道^[20]按照最大心率百分比,根据锻炼目的提出4个分区,认为60%~70% MHR为健康运动区,70%~85% MHR为有氧运动区,即可以理解为60%~85% MHR都是有氧健身区。这些均表明,在这种相对较宽的区间运动就足以引起有效刺激但不能确定最佳负荷,这是一种通用的靶心率控制方法。然运动训练理论明确指出,因个体无氧阈强度是发展

有氧耐力训练的最佳强度,因个体无氧阈强度不同,理应有一个适应个人的无氧阈心率,而不是一个范围相对较宽的区间^[5]。因此,总的看来上述方法通用性突出、个体针对性不强,未凸显运动处方个性化原则。在本研究的靶心率回归推算公式中,很好地解决了上述存在的3方面问题:(1)充分考虑了性别影响(选取男性单独推算),且除了考虑年龄、心率两个因素外,还考虑了身体形态、体表面积因素。人体体表面积是反映人体生理状态的重要指标之一,与反映人体体质强弱的身体形态、身体机能和身体素质指标具有一定的相关性。在评价身体机能、身体素质方面,体表面积具有较好的代表性和较高的可信度^[21]。以往针对哺乳动物研究发现,体表面积越大,则基础心率越大,生理学解释为体表面积越大的生物,其基础代谢越高,需要更大的血氧量来维持机体运转,因此基础心率越大^[22]。这对人体同样具有参考意义,因此体表面积作为无氧阈心率回归方程的自变量符合逻辑。(2)公式不涉及最大心率计算公式,不存在推算时出现高估或低估现象。(3)本回归方程推测是个体耐力跑时要求的无氧阈心率强度,计算结果为一个阈值,而不是一个较为宽泛的区间。

4 结论与展望

4.1 结论

(1)高中男生“阳光长跑”活动推荐使用个体无氧阈心率作为负荷强度监控指标,个体无氧阈心率回归方程为: $Y=111.537+6.076x_1-0.2821x_2-0.569x_3+9.944x_4$ (其中, x_1 为年龄, x_2 为身高、 x_3 为基础心率, x_4 为体表面积)。

(2)高一、高二、高三男生平均无氧阈心率分别为132.3、139.1、153.2次·min⁻¹。

4.2 展望

(1)随着青少年肥胖和超重现象愈加严重,有关青少年减肥的研究受到广泛关注,而有氧运动作为最简单、最有效的运动减肥方式已得到公认。本研究立足于为高中生寻求个体无氧阈心率的基础上,选取的实验对象为随机抽样的高中生,符合正态分布特征,其体脂率总体处于正常范围内。而过往研究已经论证肥胖和超重应有适宜自己的运动处方^[23]。因此,本研究推导出的高中男生无氧阈心率回归方程是否适用于高中生肥胖群体还有待斟酌,需进一步研究。

(2)由于人力、物力、财力、时间等原因,本次训练效果比较时只进行无氧阈心率强度训练组与对照组进行对比,其优势虽已说明,但未能与传统其他靶心率方法进行实验对比,且针对女生也未进行具体研究,

今后研究中需做进一步认证。

参考文献:

- [1] 关尚一. 美国儿童青少年适宜体力活动推荐量的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [2] ADAMO K B, PRINCE S A, TRICCO A C, et al. A comparison of indirect versus direct measures for assessing physical activity in the pediatric population: A systematic review[J]. *Int J Pediatr Obes*, 2009, 4(1): 2-27.
- [3] 王国军, 席翼, 武雅琼. 我国普通男性青年跑节省化(RE)测试方法的建立[J]. *中国体育科技*, 2013, 49(1): 34-40.
- [4] 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.
- [5] 王瑞元, 苏全生. *运动生理学*[M]. 北京: 人民体育出版社, 2012.
- [6] 胡咏梅, 王新潮, 任爱红, 等. 中国人体表面积实测值与以 Stevenson 公式计算值的比较[J]. *新乡医学院学报*, 1996(3): 227-229.
- [7] HU Y M, WU X L, HU Z H, et al. Study of formula for calculating body surface areas of the Chinese adults[J]. *Sheng Li Xue Bao*, 1999, 51(1): 45-48.
- [8] 葛可佑. *中国营养科学全书*[M]. 北京: 北京人民卫生出版社, 2004: 17-18.
- [9] 刘秋月. 普通高校大学生课外体育锻炼健身跑运动心率与能量消耗研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- [10] 王琨, 张明军, 苟波, 等. 无锻炼规律健康成年人最大心率与无氧阈心率推算公式的实证研究[J]. *西安体育学院学报*, 2017, 34(6): 714-720.
- [11] MEIJER G A, WESTERTERP K R, KOPER H, et al. Assessment of energy expenditure by recording heart rate and body acceleration[J]. *Med Sci Sports Ex-*
- erc*, 1989, 21(3): 343-347.
- [12] TANAKA H, MONAHAN K D, SEALS D R. Age-predicted maximal heart rate revisited[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2001, 37(1): 153-156.
- [13] 杨惠颜. 大学生耐力练习适宜负荷的研究[J]. *哈尔滨师范大学(自然科学学报)*, 1993(4): 110-112.
- [14] 刘洪珍, 朱来朝. 心率是确定健身运动负荷强度的理想参数[J]. *体育学刊*, 1993(4): 18-19.
- [15] 陆绍中, 李开刚. 有氧代谢能力与耐力项目训练中运动强度的选择[J]. *体育学刊*, 2002, 9(6): 41-44.
- [16] 步斌, 苏全生. 运动处方与体育锻炼建议书[J]. *成都体育学院学报*, 1999, 25(3): 76-79.
- [17] MARKVARDSEN L H, OVERGAARD K, HEJE K, et al. Resistance training and aerobic training improve muscle strength and aerobic capacity in chronic inflammatory demyelinating polyneuropathy[J]. *Muscle & Nerve*, 2018, 57(1): 70-76.
- [18] WHALEY M H, KAMINSKY L A, DWYER G B, et al. Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1992, 24(10): 1173-1179.
- [19] JAIN M, NKONDE C, LIN B A, et al. 85% of maximal age-predicted heart rate is not a valid endpoint for exercise treadmill testing[J]. *Journal of Nuclear Cardiology*, 2011, 18(6): 1026-1035.
- [20] 万文君. 利用心率变化科学设计、监控和评价体育锻炼[J]. *广州体育学院学报*, 2003, 23(3): 35-37.
- [21] 陈志强, 金晓峰, 赵军, 等. 身高、体重对大学男生身体机能和素质影响的比较研究[J]. *体育科学*, 2005, 25(11): 90-93.
- [22] 贾志勇. 关于体表面积与脉搏、血压关系的研究[J]. *体育与科学*, 1987, 8(3): 44-45.
- [23] 谭思洁, 杨春华. 9~10岁肥胖儿童减肥运动处方的研制及效果观察[J]. *中国运动医学杂志*, 2011, 30(1): 16-21.