

基于加速度传感器的大学生自行车运动能耗预测模型研究

Forecasting model of college students' bicycle energy consumption based on acceleration sensor

赵月民 陈培友

ZHAO Yue-min, CHEN Pei-you

摘 要: 目的: 基于三轴加速度传感器, 建立大学生自行车运动能量消耗预测方程。方法: 选取 101 名在校大学生, 按性别、年龄分成实验组(81 人)和验证组(20 人)。实验过程中受试者同时佩戴 K4b² 气体代谢分析仪和 GT3X 加速度传感器(脚踝处), 在功率自行车上依次进行不同强度(较低强度: 37%~45% VO₂max; 中等强度: 46%~63% VO₂max; 较大强度: 64%~91% VO₂max) 的骑行。采用逐步回归方法建立运动能量消耗预测模型。结果: 1) ACz 轴和 VM 轴的 counts 值与能量消耗存在较高的相关关系 ($P<0.01$)。2) 运动能量消耗 (kcal/min) = $0.000219 \times VM + 0.065 \times BW + 0.145 \times SE - 2.032$ [VM 为加速度传感器合轴 counts 值, BW 为体重 (kg), SE 为性别(女=0, 男=1)]; R^2 等于 0.88, SEE 和 SEE/Y(%) 分别为 0.61 和 11.55%。3) 经验证组数据回代检验, 各强度水平下模型预测值与 K4b² 实测值相关系数在 0.82~0.86 之间 ($P<0.01$); 绝对误差为 0.38~0.61 kcal/min, 相对误差为 8.37%~10.54%; 95% 的残差均落在 Bland-Altman 散点图 Mean \pm 1.96SD 的区间内。结论: 自行车运动中, 通过脚踝佩戴处加速度传感器合轴 counts 值、性别、体重三个变量建立的能量消耗预测方程, 能够有效地预测不同强度水平下的运动能量消耗, 预测精度较高, 可为大学生自行车运动科学监测提供依据。

关键词: 自行车运动; 三轴加速度传感器; 能量消耗; 预测方程

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-2076(2019)01-0080-06

Abstract: *Objective:* Based on the triaxial acceleration sensor, the energy consumption prediction equation of college students' bicycle movement is established. *Methods:* 101 undergraduates were selected and divided into experimental group (81 persons) and validation group (20 persons) by gender and age. During the course of the experiment, subjects wear K4b² gas metabolic analyzer and GT3X acceleration sensor (ankle) at the same time and take different intensity rides in the power of the bicycle (lower strength: 37%~65% VO₂max; medium strength: 46%~63% VO₂max; greater strength: 64%~91% VO₂max); then establish the prediction model of motion energy consumption by using stepwise regression method. *Results:* 1) There was a high correlation between the counts

收稿日期: 2017-10-27

基金项目: 国家哲学社会科学基金资助课题(13BTY014)。

作者简介: 赵月民(1992-) 男, 山东滕州人, 硕士研究生, 研究方向为体力活动测量与评价。

通讯作者: 陈培友(1974-) 男, 山东成武人, 博士, 教授, 研究方向为体育测量与评价、学生体质健康促进。

作者单位: 南京师范大学, 江苏 南京 210023

Nanjing Normal University, Nanjing 210023, Jiangsu, China

value of ACz axis and VM axis and energy consumption ($P<0.01$); 2) exercise energy consumption (kcal/min) = $0.000219 \times \text{VM} + 0.065 \times \text{BW} + 0.145 \times \text{SE} - 2.032$ (VM for the acceleration sensor coincidence counts value, BW for the weight (kg), SE for the gender (female=0, male=1)); R^2 is equal to 0.88, SEE and SEE/Y (%) are 0.61 and 11.55%, respectively. 3) Through return test of the data of validation group, we can get that the correlation coefficient between the predicted values and the measured values of K4b2 is between 0.82 and 0.86 at different levels of strength ($P<0.01$). The absolute error is 0.38–0.61 kcal/min, the relative error is 8.37%–10.54%, and 95% of the residuals fall within the range of $\text{Mean} \pm 1.96\text{SD}$ of the Bland–Altman scatter plot. **Conclusion:** In the bicycle movement, through wearing the acceleration sensor in the ankle to accumulate three variables of counts value, gender, weight, and to establish the energy consumption prediction can predict the energy consumption under different intensity levels effectively and can get higher prediction accuracy, which can provide the basis for the scientific monitoring of cycling.

Key words: bicycle movement; triaxial acceleration sensor; energy consumption; prediction equation

随着科学技术的进步和穿戴设备的发展,基于重力传感器的加速度计作为一种客观、简便的测量设备,越来越多地被用在体力活动测量工作中。刘阳对第63届美国运动医学年会上的所有文献进行综述研究发现,有超过50篇文章报告了关于三轴加速度传感器技术的身体活动测评设备的相关研究,占到该类型研究的90%以上^[1]。在体力活动监测中,加速度传感器提供的模型能比较有效地计算走跑运动的能量消耗^[2],但是不能准确测量自行车运动的能量消耗。研究显示,脚踝处的加速度计数与能量消耗的相关性最高,但仍然没有建立有效的自行车运动能量消耗计算模型^[3]。因此,本研究将选取Actigraph GT3X加速度传感器,将其佩戴于脚踝处位置,以K4b²气体代谢分析仪能量消耗测量值为依据,建立自行车不同强度运动下加速度计数与运动能量消耗之间的关系方程,以期丰富加速度传感器能量消耗计算模型,为大学生自行车运动科学监测提供依据。

1 研究方法

1.1 受试者

本研究共有101名在校大学生参与测试,其中男生50人,女生51人;在实验之前详细询问受试者的健康状况,确定其无心肺功能疾病及高血压等后纳入正式受试对象。为研究需要,在数据处理时将受试者随机分成两组,一组(男生40人,女生41人),用于模型建立,另一组(男生10人,女生10人),用于验证模型。

1.2 实验仪器与测试方案

1.2.1 实验仪器

1.2.1.1 ActiGraph GT3X 加速度传感器

ActiGraph GT3X(简称GT3X)是由美国制造技术

有限公司生产的一款三轴加速度运动传感器,其功能主要包括活动计数、能量消耗、向量幅度、计步、代谢当量等。本实验将GT3X佩戴于右脚脚踝外侧上缘处(简称脚踝位置),通过自带分析软件Actilife5.10.0提取原始指标垂直轴(ACz)、额状轴(ACy)、矢状轴(ACx)、水平轴(ACh)、合轴(VM)等的加速度计数(counts)。ACh水平轴,计算公式为 $ACh = (\text{ACx}^2 + \text{ACy}^2)^{1/2}$ 。VM矢量合轴,计算公式为 $VM = (\text{ACx}^2 + \text{ACy}^2 + \text{ACz}^2)^{1/2}$ 。实验之前,对仪器进行校准,采样频率设置为6次/min。

1.2.1.2 Monark 839E 功率自行车

Monark 839E 功率自行车内置微型电脑装置,可外连PC或心电分析仪。其可做恒功率、恒阻力、恒心率练习或测试,并有配套的测试分析软件(Analysis software Ver 1.0),遥测胸带监测心率,实时显示心率、脚踏速度、阻力、做功量等指示。功率自行车在正式使用之前需预热,由实验人员检查是否使用正常。

1.2.1.3 K4b² 气体代谢分析仪

间接测热法一般被认为是进行能量消耗监测的金标准,有着较高的精确性^[4]。K4b²气体代谢分析(简称K4b²)能够通过测量运动中受试者的摄氧量(VO_2),进而计算能量消耗,每日测试前需对K4b²进行预热和校正。

1.2.2 运动强度界定和阻力计算

功率自行车骑行分为三个强度骑行阶段,三种强度依次为:较低强度:37%~45% $\text{VO}_{2\text{max}}$;中等强度:46%~63% $\text{VO}_{2\text{max}}$;较大强度:64%~91% $\text{VO}_{2\text{max}}$ ^[5]。功率自行车骑行阻力采用室外骑行轮胎和地面的滚动摩擦阻力($F(\text{摩擦力})$)^[6]: $F(\text{摩擦力}) = \mu \times F_n / r = \mu \times mg / r$, μ (摩擦系数)=0.5 mm, g (重力加速度)=9.8 m/s^2 , m =体重+车重,普通自行车车重为15 kg, r (轮胎

半径) = 25 cm。

1.2.3 测试方案

1.2.3.1 最大摄氧量(VO_2max)测定

受试者测试前首先带好心率带和面罩,连接气体代谢分析仪。采用递增负荷方式测试最大摄氧量:功率自行车运动负荷从 100 W 开始(女生 50 W),每分钟递增 25 W,至力竭(蹬踏速度为 60 r/min)。当摄氧量出现平台,即负荷摄氧量不在增长,可视为达到最大摄氧量。如果摄氧量未出现平台,而受试者已经力竭,则取最大值作为最大摄氧量。如果呼吸商大于 1.1,心率在 180 次/min 以上,受试者不能保持当前运动速度也可以作为最大摄氧量^[7]。

1.2.3.2 不同强度骑行实验

根据计算的阻力(F 摩擦力)给功率自行车设定骑行阻力。首先,受试者缓慢匀加速骑行,骑行到 37%~45% VO_2max 时,提醒受试者保持当前速度,当范围平稳在 37%~45% VO_2max 并维持 3 min 后,记录此时的骑行速度,此速度为受试者进行较小强度骑行时的适宜运动速度。再让受试者以此速度骑行 5 min,同时获取 5 min 的 GT3X 实验数据和 K4b² 的实验数据。之后,让受试者按照上述方案进行中等强度(46%~63% VO_2max)和较大强度(64%~91% VO_2max)的骑行实验。最后将 GT3X 的测试数据导入 Actilife5.10.0 软件、K4b² 的数据导入 Cosmed K4b²7.0 软件,之后进行数据整理与分析。整理时,GT3X 和 K4b² 中的实验数据取每一分钟均值。

表 2 不同强度下摄氧量、心率、METs、蹬踏速度、骑行速度对应表

性别	强度	摄氧量 (ml/kg/min)	心率 (HR)	METs	蹬踏速度 (r/min)	骑行速度 (km/h)
		M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD
男	较低	16.63±1.79	113.3±8.01	4.75±0.51	41.85±5.82	14.53±2.11
	中等	21.05±2.34	134.21±9.3	6.01±0.67	60.60±7.96	21.38±2.89
	较大	27.21±3.30	159.76±11.11	7.77±0.94	78.98±8.38	27.98±3.02
女	较低	15.53±1.52	120.25±7.6	4.44±0.44	37.44±5.02	13.00±1.83
	中等	19.46±2.02	139.84±7.53	5.56±0.58	53.39±6.72	18.66±2.42
	较大	24.28±2.74	160.49±7.91	7.21±0.79	69.46±6.55	24.54±2.38

表 2 显示,在三种强度下受试者的摄氧量、心率、METs 和 ACSM 运动强度等级中的分级标准基本一致。男生较低强度运动下的蹬踏速度为 41.85 r/min,骑行速度为 14.53 km/h,中等强度运动下的蹬踏速度为 60.60 r/min,骑行速度为 21.38 km/h,较大强度运动下的蹬踏速度为 78.98 r/min,骑行速度为 27.98 km/h;女生较低强度运动下的蹬踏速度为 37.44 r/min,骑行速度为 13.00 km/h,中等强度运动下的蹬踏速度为 53.39 r/min,骑行速度为 18.66 km/h,较大强度运动下的蹬踏速度为 69.46 r/min,骑行速度为 24.54 km/h。

2.3 运动能量消耗预测模型的建立

2.3.1 加速度传感器计数与运动能量消耗关系

1.3 数据统计

采用逐步回归法建立自行车运动能量消耗预测方程。采用 Pearson 相关、相对误差以及 Bland-Altman 点图等方法检验预测方程的有效性。显著性水平定义为 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。

2 研究结果

2.1 受试者基本信息

正式实验前,首先对受试者的年龄、性别、身高、体重、BMI、最大心率(HRmax)信息进行采集。最大心率(HRmax)采用 Tanaka 计算公式, $\text{HRmax} = 208 - 0.7 \times \text{年龄}$ (此公式适用于健康的成年男性和女性)^[5]。接着对受试者的最大摄氧量进行测试,获取受试者基本信息。受试者各指标测试结果见表 1。

表 1 受试者基本信息一览表(M±SD)

	实验组		验证组	
	男生(n=40)	女生(n=41)	男生(n=10)	女生(n=10)
年龄	21.00±1.70	21.00±1.74	21.10±1.71	20.70±1.68
身高(cm)	174.48±4.86	164.02±4.75	174.50±6.17	165.50±4.12
体重(kg)	68.33±9.68	56.02±7.75	64.90±8.32	58.60±8.91
BMI(kg/m ²)	22.40±2.70	20.79±2.41	21.25±1.94	21.35±2.83
最大摄氧量(ml/kg/min)	41.28±5.51	38.27±4.74	43.55±5.58	37.97±5.78
最大心率(次/min)	193.32±1.20	193.53±1.10	193.50±1.29	193.40±1.17

2.2 不同性别大学生骑行强度的分析

以 ACSM 运动强度等级中的最大摄氧量百分比(% VO_2max)分级为依据,采集受试者较低强度、中等强度和较高强度骑行运动中的摄氧量、心率、METs、蹬踏速度以及骑行速度,数据统计结果见表 2。

对不同强度下各加速度轴原始 counts 值进行分析发现(见表 3),加速度传感器各轴 counts 值均随着运动强度的增加而增大。在各分轴中,三种运动强度下 ACz 轴的 counts 值均最大,分别为 7360.30、13611.97、20264.69,ACx 轴、ACy 轴 counts 值相对较小。进一步对各加速度轴 counts 值与能量消耗的相关关系进行分析,各轴 counts 值均与能量消耗线性相关关系显著($P<0.01$)。其中,ACz 轴 counts 值与能量消耗的相关系数在三种强度水平下均大于其他各分轴,相关系数依次为 0.63、0.59、0.66;VM 轴与能量消耗也存在较高的相关关系,相关系数依次为 0.57、0.58、0.65。

2.3.2 回归方程建立

以 K4b² 实测能量消耗值为因变量,以 ACz、ACx、

表3 各加速度轴 counts 值与能耗值的相关分析

强度	加速度轴	counts M±SD	能量消耗 (kcal/min) M±SD	相关系数 (r)
较低	ACz	7360.30±1900.13		0.63**
	ACy	2989.16±1374.35		-0.46**
	ACx	451.53±679.55	3.78±0.81	0.00**
	ACh	3122.8±1317.64		-0.45**
	VM	8187.68±1492.24		0.57**
中等	ACz	13611.97±3208.42		0.59**
	ACy	3353.53±1447.32		0.30**
	ACx	996.98±1258.74	5.14±1.05	0.26**
	ACh	3670.83±1562.45		0.35**
	VM	14155.96±3331.77		0.58**
较大	ACz	20264.69±3385.57		0.66**
	ACy	6853.77±2335.26		0.63**
	ACx	2149.23±1924.34	6.91±1.58	0.29**
	ACh	7364.03±2552.34		0.61**
	VM	21609.62±3985.23		0.65**

注: **表示 $P<0.01$, *表示 $P<0.05$

ACy、ACh、VM、年龄、性别、身高、体重、BMI 等为自变量,选取逐步回归法,建立回归方程,方程参数见表4。

表4 逐步多元回归参数表

	非标准化系数	标准化系数	t	TOL	VIF	CI	特征值
(常量)	-2.032		-16.598**			1	3.504
VM	0.000219	0.790	76.697**	0.956	1.046	3.044	0.378
BW	0.065	0.398	32.342**	0.669	1.495	5.695	0.13
SE	0.145	0.042	3.315**	0.646	1.547	15.52	0.017
R=0.94	R ² =0.88	调整 R ² =0.88	F=2884.52**	SEE=0.61	SEE/?	值 Y(%) = 11.55	

方程: 能量消耗 (kcal/min) = 0.000219×VM+0.065×BW+0.145×SE-2.032

注: ACz 为垂直轴 counts 值; VM 为合轴 counts 值; BW 为体重(kg); SE 为性别(女=0,男=1)

表5 能量消耗预测模型的有效性分析

运动强度	能量消耗(M±SD)		Pearson 相关		绝对误差 Kcal/min	相对误差 %	95%CI	
	实际能耗	预测能耗	r	P			下限	上限
较低	4.02±0.73	3.94±0.81	0.82**	0.000	0.38±0.28	9.35±6.76	8.10	10.71
中等	5.36±1.04	5.20±1.13	0.83**	0.000	0.54±0.38	10.54±7.87	9.01	12.13
较大	6.99±1.44	6.65±1.24	0.86**	0.000	0.61±0.52	8.37±6.21	7.15	9.66
总计	5.46±1.64	5.26±1.54	0.92**	0.000	0.51±0.42	9.42±7.01	8.65	10.30

注: **表示 $P<0.01$, *表示 $P<0.05$

以每个受试者预测值与实测值的均值作为横坐标,预测值与实测值的差值作为纵坐标建立 Bland-Altman 散点图^[8](见图1、图2、图3)。结果显示,三种强度水平的预测值与实测值的残差基本均匀落在 $\text{Mean} \pm 1.96\text{SD}$ 的区间内,预测值和实测值残差均值在不同强度下分别为 -0.09, -0.16, -0.34。虽然方程具有低估能量消耗的问题,但均值仍接近 0 线,表明方程对自行车运动能量消耗有较好的预测能力。

3 分析与讨论

3.1 加速度传感器计数与运动能量消耗关系

在以往的走跑运动研究中,建立的能量消耗方程多是以垂直轴(ACz)加速度计数为基础的。研究表明垂直轴的加速度计数与能量消耗之间存在高度相关

回归方程自变量的容忍度(TOL)均大于 0.64,方差膨胀系数(VIF)均小于 1.55,特征值均大于 0.01,条件指标(CI)均小于 16,因此回归方程各自变量间不存在多元共线性问题。F 值为 2 884.52 ($P=0.000<0.01$),决定系数 R^2 为 0.88,因而 VM、体重、性别 3 个自变量共可有效解释能量消耗 88% 的变异量,方程的剩余标准差(SEE)为 0.61,SEE/Y(%) 值为 11.55%,方程的拟合程度较高。

2.4 能量消耗预测模型的有效性

将验证组每个受试者的性别、体重、VM 数据代入回归方程,计算能量消耗预测值,并与实际运动能量消耗值进行比较,结果见表5。

表5显示,不同强度水平下,自行车运动能量消耗预测值与实测值之间具有显著线性相关关系($P<0.01$),相关系数分别 0.82, 0.83, 0.86。方程能量消耗预测的绝对误差在 0.38~0.61 kcal/min 之间,且绝对误差随运动强度的增加而增大,相对误差在 8.37%~10.54% 之间。较大强度时,方程能量消耗预测的相对误差最小,中等强度水平时的相对误差最大。

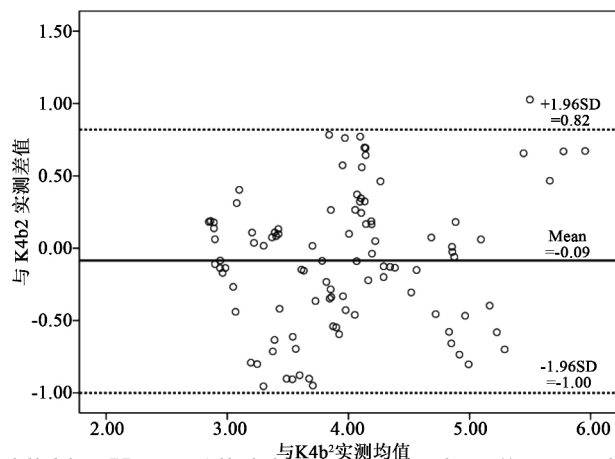


图1 较低强度时能量消耗预测的 Bland-Altman 图

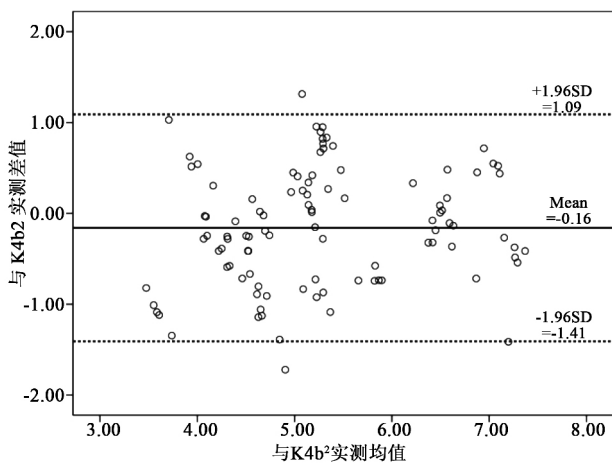


图 2 中等强度时能量消耗预测的 Bland-Altman 图

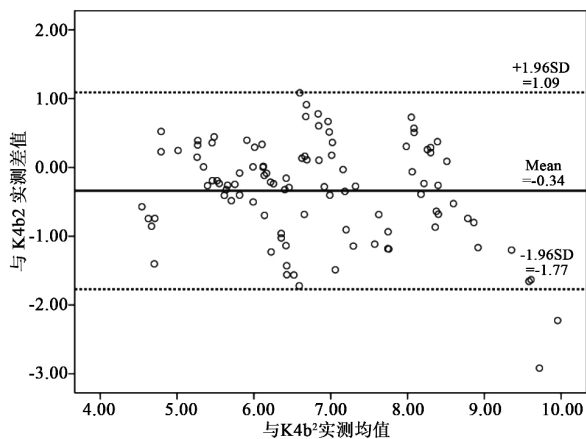


图 3 较大强度时能量消耗预测的 Bland-Altman 图

性。在近期关于走跑运动能量消耗方程的研究中,大多利用三轴加速度传感器中的合轴(VM)计数进行能量消耗方程的建立。与单轴加速度传感器相比,三轴加速度传感器能够捕捉一些复杂的运动形式,可更加全面的对体力活动进行监测。本研究利用三轴加速度传感器对自行车运动进行分析发现,ACz 轴和 VM 轴的加速度计数感应最为丰富,且均与能量消耗存在较高的相关关系,这可能与本研究采用固定位置的功率自行车有关。路飞扬等人利用三轴加速度传感器对室外普通自行车骑行的研究中也发现,ACz 轴和 VM 轴感应加速度计数均较为丰富,且与能量消耗存在较高的相关关系^[9]。同样马国强等人在对场地自行车运动的研究中也得到了相似的结论。但有不同的是,其研究发现矢状轴(ACx)的加速度计数也与能量消耗存在高度相关关系^[3]。这可能是由于其研究中以专业场地自行车运动员为受试对象,加速度传感器置于外踝上缘,采用大强度递增速度实验(22~48 km/h,每 2 min 递增 4 km/h)导致的。置于外踝上缘,加速度传感器矢状轴(ACx)捕捉的是额状轴(左右)方向的加速度。极大强度骑行时,身体会出现相对于普通坐式骑车过多的动作类型,加速度传感器捕捉了更为丰富

的信息。整体来看,无论是功率自行车、普通自行车、场地自行车,相对于其他各分轴,垂直轴(ACz)均能够感应最丰富的加速度变化。垂直轴(ACz)和合轴(VM)的加速度计数均与能量消耗存在较高的相关关系,是预测能量消耗较佳的自变量。

3.2 加速度传感器预测能量消耗效率

在加速度传感器能量消耗预测模型的研究中发现,没有一个方程能有效估算所有类型体力活动的能量消耗,且只在针对某种类型的活动时才有较高的效率^[10-11]。GT3X 官方软件中自带能量消耗模型均是以走跑运动形式为基础建立的,研究表明在对自行车运动能量消耗预测时,自带方程误差太大,不能有效的进行预测^[12]。因此,本研究针对自行车运动建立能量消耗预测方程。以加速度传感器 ACz、ACx、ACy、ACh、VM、年龄、性别、身高、体重、BMI 为自变量,以 K4b² 实测能量消耗值为因变量,采用逐步回归法建立能量消耗预测模型,排除共线性问题,最终纳入 VM、体重、性别变量。判定系数(R^2)为 0.88,大于 0.8,方程拟合程度较高。剩余标准差(SEE)和标准 SEE/Y×100%分别为 0.61,11.95%,在线性回归分析中,剩余标准差(SEE)用来表示回归方程预测未来的可靠程度(精度),剩余标准差(SEE)越小说明建立的回归方程越好。在实际应用中,为便于评价回归方程的优劣,通常采用统一标准 SEE/Y×100%(剩余标准差/因变量的均值×100%),SEE/Y×100%的值小于 15%时,表示回归方程的可靠程度较高^[13]。因此,本研究新建方程在预测能量消耗时有着较高的可靠度。利用验证组数据对方程的有效性进一步分析,方程预测值与 K4b² 实测值具有显著的相关关系($r=0.82-0.86$, $P<0.01$)。预测值和实测值的绝对误差依次为 0.38 kcal/min、0.54 kcal/min、0.61 kcal/min,相对误差依次为 9.35%、10.54%、8.37%,两种误差均较小,准确度均在 89%以上,回归模型的可信程度较高。在相对误差中,预测方程出现随着运动强度增加,相对误差先增大后减小的现象,这与王军利等人走跑运动研究中发现随着运动强度的增加误差先减小后逐渐增大的结果相悖^[14]。其他研究也有发现相对误差呈现不随运动强度变化趋势而改变的问题,并提出这可能是与受试者的运动方式有关^[15-16]。Bland-Altman 散点图的目的是计算两种测量结果的一致性,并以图形的方式直观的反映这种一致界限性,从而得出这两种测量方法是否具有一致性的结论。从方程预测能量消耗值的 Bland-Altman 散点图结果发现,95%的预测值与实测值的残差均落在 Mean±1.96SD 内,方程预测值和实测值残差的均值在不同强度下分别为 -0.09, -0.16, -0.34。虽然方程有低估能耗的问题,但均值线基本接近 0,两种测量结果也较为接近,能够有效的预测自行车运动的能量消

耗。

不同的算法和预测方程会影响运动能量消耗测量的准确性,基于 counts 值计算日常体力活动能量消耗是目前常使用的方法^[17]。虽然现在硬件监控技术有很大的进步,但目前多数研究仍是基于线性回归分析来建立能量消耗预测方程。至今,基于 count 值建立能量消耗的模型已有了较深的研究,并建立了多种运动类型的能耗方程,其中以走跑类型居多。向剑锋等人基于走跑运动运动形式建立能耗预测方程: $(\text{kcal}/\text{min}=0.000784\times\text{VM}+0.054\times\text{BM}-1.947)$; 矢量计数 VM: counts/min, 体重 BM: kg, 在数据分析时发现体力活动的加速度计数决定回归模型的斜率和截距的变化,但是单纯用活动计数代表能量消耗,这样的输出结果是不完全准确的。因此其方程中引入 counts 值和身体测量特征值(体重),结果表明具有较高的效度^[18]。另外也有研究表明其能量消耗方程引入身体测量特征值后,比单纯基于 counts 值方法评估能耗的准确性高了 15%^[19]。由此可见把身体测量特征值和加速度计数作为自变量同时引入方程比单纯的引入加速度计数建立方程更能准确的评估体力活动的能量消耗。本研究所建方程是通过 VM、体重、性别变量来预测能量消耗的。因此,既包括了身体测量特征值,也包括了加速度计数(counts)值,且结果显示预测有较高的准确度。在已有的关于自行车运动的研究中,研究者也建立了一些能量消耗预测模型。刘春辉等人以大学生人群为研究对象,应用骑行速度、去脂体重、性别建立自行车能耗预测方程,结果显示 R^2 为 0.704,方程解释了骑车能量消耗的 70.4% 变异量^[20]。马国强等人以 ROC 曲线分段建立自行车能量消耗方程,结果显示 R^2 分别为 0.837、0.767,共解释骑车能量消耗的 76.7%~83.7% 的变异量。本研究所建方程 R^2 为 0.88,可以解释自行车能量消耗 88% 的变异量,方程拟合程度更高一些。因此,相比较而言,本研究方程能够更加有效预测自行车运动的能量消耗,准确度较高。但是,本研究所建方程是基于实验室条件下的,至于外部效度如何,还有待进一步检验。

4 结论

在自行车运动中,相对于其他各分轴,垂直轴(ACz)能够感应最丰富的加速度计数。垂直轴(ACz)和合轴(VM)的加速度计数均与能量消耗存在较高的相关关系,是预测能量消耗较佳的自变量。通过脚踝佩戴处加速度传感器合轴(VM) counts 值、性别、体重三个变量建立的能量消耗方程,能够有效预测不同强度水平下自行车运动的能量消耗,预测精度较高,可为大学生自行车运动科学监测提供依据。

参考文献:

- [1]刘阳.基于加速度计的身体活动测量研究前沿[J].北京体育大学学报,2016(8):66-73.
- [2]王道,刘欣,徐亮亮,等. GT3X+加速度计测量 20~30 岁成年人走跑运动能耗的信效度研究[J]. 中国运动医学杂志,2015,34(3):291-296.
- [3]马国强,邱俊,陆姣姣,等. 应用加速度计数建立场地自行车能耗预测方程[J]. 中国运动医学杂志,2015(7):621-627.
- [4]赵壮壮,陈培友,邱悦雯. LivePod LP2 检测人体运动中能量消耗水平的信、效度检验[J]. 体育科学,2012(1):48-53.
- [5]美国运动医学学会.ACSM 运动测试与运动处方指南(第9版)[M].王正珍,等译.北京:北京体育大学出版社,2015.
- [6]哈尔滨工业大学理论力学教研室.理论力学[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [7]张勇,王恬. 不同强度骑车和跑步的能量消耗与底物代谢特征研究[J]. 中国体育科技,2009(1):111-114.
- [8]朱琳,陈佩杰. 三轴运动加速度计(GT3X)测量青春期少年(11~14岁)身体活动能耗预测方程的建立和检验[J]. 中国体育科技,2014(3):73-77.
- [9]路飞扬,戴剑松,李松骏. 加速度传感器测量自行车运动能耗的信效度研究[J]. 体育成人教育学报,2014,30(2):60-63.
- [10]Howe C A, Staudenmayer J W, Freedson P S. Accelerometer prediction of energy expenditure: vector magnitude versus vertical axis[J]. Med Sci Sports Exerc, 2009, 41(12):2199-2206.
- [11]Rothney M P, Schaefer E V, Neumann M M et al. Validity of physical activity intensity predictions by ActiGraph, Actical, and RT3 accelerometers. [J]. Obesity, 2008, 16(8):1946-1952.
- [12]Janssen X, Cliff D P, Reilly J J et al. Predictive validity and classification accuracy of ActiGraph energy expenditure equations and cut-points in young children[J]. Plos One, 2013, 8(11):79-89.
- [13]林侠. 统计学原理与实务[M]. 北京:北京师范大学出版社,2014.
- [14]王军利,张冰,贾丽雅,等. Actigraph(GT3X)加速度计测量我国 19~29 岁人群身体活动能耗的信效度研究[J]. 体育科学,2012,32(12):71-77.
- [15]Jr B D, Ainsworth B E, Swartz A M et al. Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2000, 32(9 Suppl):471-480.
- [16]Le M G, Tudor-Locke C. Comparison of pedometer and accelerometer accuracy under controlled conditions. [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2003, 35(5):867-871.
- [17]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(6):79-86.
- [18]向剑锋,李之俊. 应用 Actigraph 三轴加速度传感器矢量计数监测日常体力活动的研究[J]. 体育科学,2013,33(11):75-83,88.
- [19]Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2011, 14(5):411-416.
- [20]刘春辉,盛蕾,汤强. 自行车不同骑速能量消耗特征研究[J]. 南京体育学院学报:自然科学版,2012(2):1-3.