

# 户外运动强度测定与定级

刘泓舟, 刘 帅\*, 康明铭, 吕 蒙

四川大学物理学院, 四川 成都

收稿日期: 2022年7月25日; 录用日期: 2022年8月25日; 发布日期: 2022年9月1日

## 摘 要

目标: 制定一套适用于大众的户外运动强度测定和分级方法。方法: 由于总心跳数与耗氧量成正比, 我们利用总心跳数作为运动强度的指标。通过实验建立总心跳数与徒步、登山两种运动形式中前进速度、爬升速度、前进负重、爬升负重四种运动因素的关系, 结合个体差异归纳出有氧运动下户外运动强度的计算公式。并参考人群经验, 制定适用于大众的户外运动强度分级方法。结果: 各因素与运动强度的关系、通过大众易于得到的数据计算运动强度的总公式和基于此的户外运动强度分级方法。此方法结合智能手机测量, 便于推广。

## 关键词

户外运动, 运动强度, 运动强度定级, 运动强度计算公式, 总心跳数

# Measurement and Classification of Outdoor Exercise Intensity

Hongzhou Liu, Shuai Liu\*, Mingming Kang, Meng Lyu

School of Physics, Sichuan University, Chengdu Sichuan

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 25<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 1<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

**Aim:** This study aimed to develop a measurement and classification method of outdoor exercise intensity suitable for the public. **Method:** Since the total heartbeat is proportional to the oxygen consumption, we used the total heartbeat as an indicator of exercise intensity. We conducted experiments to establish the relationship between total heartbeat and four exercise factors of forward walking speed, climbing speed, walking with weight-bearing and climbing with weight-bearing in the two exercise forms of hiking and mountaineering. The calculation formula of outdoor exer-

\*通讯作者。

cise intensity under aerobic exercise was deduced by combining individual differences, and a classification method of outdoor exercise intensity suitable for the public was formulated with reference to population experiences. Results: The results included the relationship between each factor and exercise intensity, a formula for calculating exercise intensity from data readily available to the public, and a grading method for outdoor exercise intensity based on this. This method, if combined with smartphone measurement, is convenient for promotion to the public.

## Keywords

Outdoor Exercise, Exercise Intensity, Exercise Intensity Classification, Calculation Formula of Exercise Intensity, Total Heartbeat

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

户外运动是指在户外自然环境中举行的带有休闲或者探险性质的运动项目。本文主要研究了有氧户外徒步和登山两种运动形式。现代人身心健康需求提高,世界各地户外运动呈井喷式发展[1][2]。但是户外运动爱好者想方便地得到运动强度并不容易,且上述两种运动的强度分级并没有适用于大众的国际标准,参与者建立了不同的经验分级,缺乏客观标准,也不能体现个体差异。

在运动学中,有多种用来反映运动强度的指标,常见的有代谢当量、最大乳酸稳态[3]、心电音信号[4]、最大摄氧量[5]、心率[6]、主观感觉[7][8]等,运动者们希望能够既方便又准确地获得自己的运动强度,但现存的运动强度指标都存在着测量不方便或准确性不够高等缺陷。基于心跳数与耗氧量或能量输出成正比,我们采用总心跳数作为运动强度指标,这一指标相对于最大耗氧量、心率等常用指标来说,兼具准确性和测量简便性的优点[9][10]。

户外运动强度与很多的因素有关,包括前进速度、爬升速度、负重、海拔[11]、温度、湿度[12]、运动时间等。体感强度还会跟个人静息心率、心理状态[13]、身体状态等因素有关。本文的主要研究对象是常见的有氧户外徒步和登山,在这两种运动过程中最主要的影响因素有前进和爬升的速度、运动过程中的负重以及体现个体差异的身体条件(静息心率、身高、体重),我们通过实验测量这些因素与运动强度之间的依赖关系。

## 2. 各种因素与运动强度关系的确定

测试者为一名 22 岁男性大学生,身高 181 cm,体重 67 kg,静息心率为 67/min,在实验进行期间身体状况并无明显异常和变化。

实验中使用的主要仪器为迪卡侬(decathlon)蓝牙心率监测带 GEONAUTE ANT+和带有 GPS 功能的智能手机。实验方案的制定基于对户外徒步或爬山运动的分解和模拟。

实验分为五组,分别测量前进速度、前进负重、爬升速度、爬升负重、体质指数这五个主要因素与总心跳数的关系。总心跳数对应我们提出的运动强度。测量在餐后一个半小时左右进行,同一组实验的测试地点相同。不同速度相同负重快走实验和不同体质指数个人快走实验中,实验时间均为 30 分钟;不同负重相同速度快走实验中,实验路程均为 3 km。在所有爬楼实验中,爬楼高度定为 20 层。并且同一组的实验尽量都在相近的日期内完成以避免天气变化过大或身体状况变化过大等因素的影响。所有实验

数据均取心率达到稳定后的数据。

实验步骤如下：1) 测试者根据佩戴要求戴好心率监测带，并将其与智能手机相连接，带上所需的仪器和器材来到实验场地。2) 实验过程中，根据手机显示的实时数据来尽量保持匀速运动。到达实验计划所设定的目标后停止运动，上传心率带所记录的数据。3) 处理数据，拟合得到经验关系。

### 3. 测试结果和运动强度计算方法

#### 3.1. 不同速度零负重的徒步快走实验

本组实验测试者在进行测试时保持无负重状态，并分别以 2 km/h、3 km/h、4 km/h、4.5 km/h、5 km/h、6 km/h 的前进速度在无海拔变化的水平路面匀速行走，实验的速度误差为  $\pm 0.1$  km/h，行走时间均为 30 分钟。拟合数据后可以看出，储备心率与前进速度成正比(储备心率是个人实际心率与静息心率之差，即 1 分钟的储备总心跳，储备总心跳即实测总心跳减去静息心率乘以时间)，与预期的规律相符合。拟合得到前进速度与储备心率的关系为：

$$R = 7.35V_p - 1.26, \quad (1)$$

其中  $V_p$  为前进速度， $R$  为储备心率。

#### 3.2. 不同负重相同速度的徒步快走实验

本组实验测试者在进行测试时均保持 5.0 km/h  $\pm$  0.1 km/h 的前进速度，并分别以 0 kg、2 kg、4 kg、6 kg、8 kg、10 kg 的负重在无海拔变化的水平路面进行匀速行走，每次实验的负重误差为  $\pm 0.1$  kg，行走路程均为 3 km。拟合数据后可以看出，储备心率与前进负重同样成正比。拟合得到前进负重与储备心率的关系为：

$$R = 1.55m_p + 36.61, \quad (2)$$

其中  $m_p$  为前进负重， $R$  为储备心率。

#### 3.3. 不同速度相同负重的爬升实验

本组实验测试者在进行测试时均保持无负重状态，并分别以 0.147 m/s、0.171 m/s、0.184 m/s、0.203 m/s、0.225 m/s、0.269 m/s 的速度在同一栋楼的楼梯间做匀速爬升运动，速度误差为  $\pm 0.003$  m/s，爬升楼层 20 层。在爬升速度为 0.27 m/s 的数据点的测试中，测试者部分时间已进入无氧运动状态，与整体规律偏离较大，数据不参与拟合。拟合过程中将(0, 0)点加入拟合作为约束(误差取其他测量点的平均值)。拟合数据后可以看出，储备心率与爬升速度也成正比。拟合得到爬升速度与储备心率的关系为：

$$R = 448.08V_c + 1.02 \quad (3)$$

其中  $V_c$  为爬升速度， $R$  为储备心率。

#### 3.4. 不同负重相同速度的爬升实验

本组实验测试者在进行测试时均保持相同速度状态，爬楼速度为 13.5  $\pm$  0.5 s/层，每层楼高为 3 米。并分别以 0 kg、2 kg、4 kg、5 kg、6 kg、8 kg 的爬升负重在同一栋楼的楼梯间进行匀速爬升运动，每次实验的负重误差为  $\pm 0.1$  kg，爬升楼层均为 20 层。拟合数据后可以看出，储备心率与爬升负重近似成正比。拟合得到爬升负重与储备心率的关系式为：

$$R = 1.68m_c + 90.24 \quad (4)$$

其中  $m_c$  为爬升负重； $R$  为储备心率。

### 3.5. 不同体质指数测试者的徒步快走实验[14]

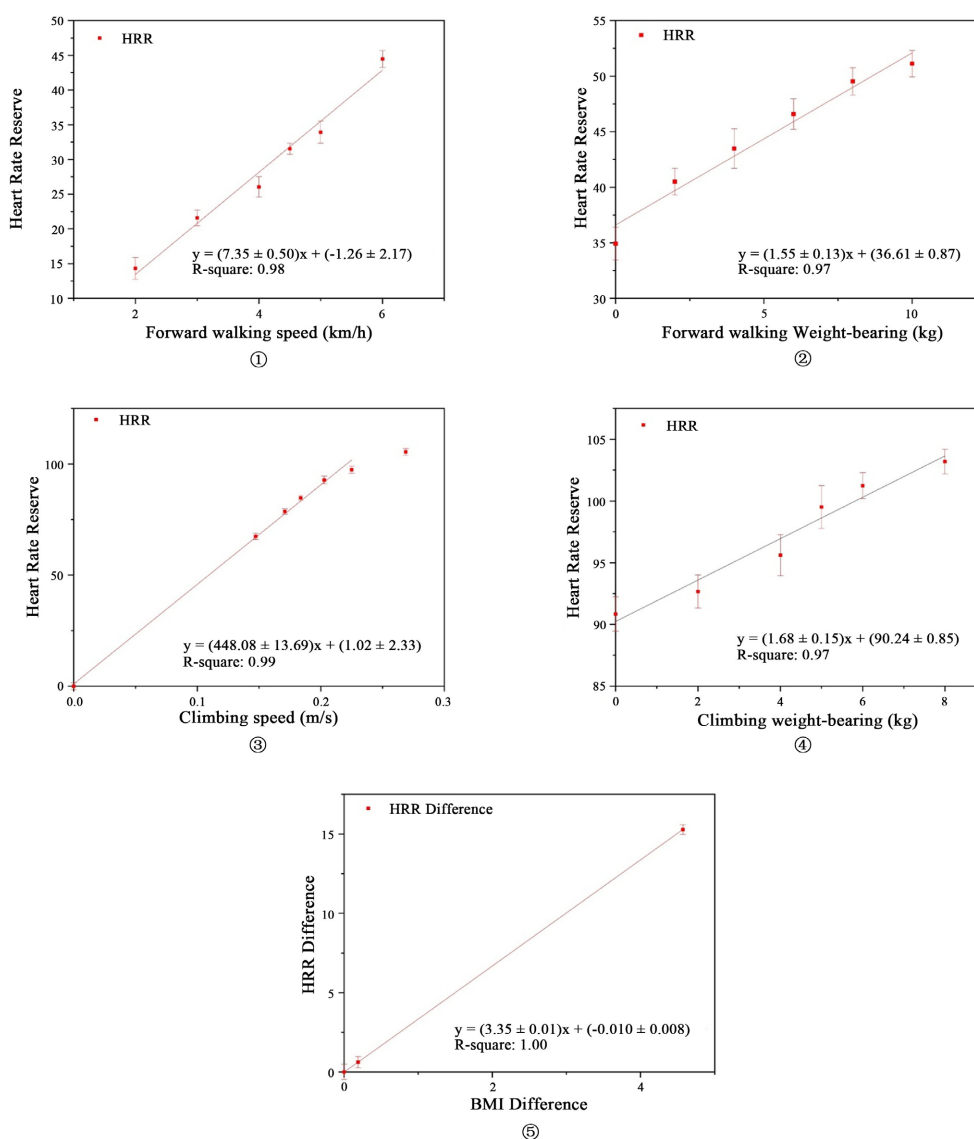
本组实验中,三位测试者皆以 4 km/h 的速度匀速无负重徒步 30 分钟。三人的身高、体重、体质指数、静息心率及储备心率数据分别为(① 181 cm, 67 kg, 20.45, 67, 28.49, ② 167 cm, 69.8 kg, 25.02, 65, 43.77, ③ 155 cm, 49.6 kg, 20.64, 86, 29.11)

计算测试者 2、3 的体质指数和储备心率与测试者 1 (实验 1, 2, 3, 4 的测试者)的差值, 以此体质指数差值为横坐标, 以测试者储备心率差值为纵坐标作图并拟合。图像显示三个有效数据点基本服从正比规律, 我们可以得出爬升速度与 1 分钟储备心跳的关系式为:

$$\Delta R = 3.35\Delta BMI - 0.01 \quad (5)$$

其中  $\Delta BMI$  为  $BMI$  指数差值,  $\Delta R$  为储备心率差值, 单位为次。

以上 5 个实验的拟合图像见图 1。



**Figure 1.** The relationship between each relevant factor and the reserve heart rate  
**图 1.** 各相关因素分别与储备心率的关系

### 3.6. 计算运动强度的总公式

前面实验得到储备心率对每种因素的依赖关系, 总结如下:

前进速度:  $R = 26.46V_1 - 1.26$ ,

前进负重:  $R = 1.55m_1 + 36.61$ ,

爬升速度:  $R = 448.08V_2 + 1.02$ ,

爬升负重:  $R = 1.68m_2 + 90.24$ ,

体质指数:  $\Delta R = 3.35\Delta BMI$ ,

我们假设前进速度, 前进负重, 爬升速度, 爬升负重独立影响运动强度, 体质指数体现个体差异。单独因素结合起来, 经过单位换算和化简, 写成对方便测量的因素的依赖, 可以得到如下的总公式:

$$S = \frac{13}{50000} \left( 60rt + (1587.6 \pm 108.0)d + (23709.6 \pm 929.4)h + (100.8 \pm 9.0)mt + \frac{(201 \pm 0.6)Mt}{H^2} - 4049.4t \right) \quad (6)$$

其中  $S$  为运动强度即总心跳,  $r$  为静息心率,  $d$  为前近距离(m),  $h$  为爬升高度(m),  $m$  为负重(kg),  $M$  为体重(kg),  $H$  为身高(m),  $t$  为时间(s)。

该公式包含了 7 种户外徒步和登山运动的主要影响因素, 经五位志愿者实测数据检验, 该公式适用于有氧运动强度的定级。考虑到个人差异在此计算公式中只起到很小的作用, 并且五位志愿者的计算总心跳数与实测总心跳数的偏差均在 6.5% 以内, 不会对我们的分级标准的等级判定产生显著影响, 体现公式本身对测试样本的稳定性。

## 4. 运动强度的定级

现有常用的运动强度分级方法有: ① 以 %VO<sub>2max</sub> 或 %HR<sub>max</sub> 作为运动强度分级依据, ② 根据运动者运动时主观感觉强度(RPE)确定运动强度分级, ③ 以梅脱(Met)确定的运动强度分级等等。但它们或多或少存在弊端: ① 部分方法运动强度等级的大小序列不一, ② 部分方法的个别运动强度分级存在“空档”, ③ 不适用于大众[15]。

为了尽量解决上述问题, 我们以现有的运动强度分级标准为基础, 用总心跳做指标拟定了一个运动强度的分级标准(表 1)。储备总心跳即实测总心跳减去静息心率乘以时间, 最大储备总心跳即最大心率减去静息心率的差值乘以时间。

**Table 1.** Exercise intensity grading based on percentage of total heartbeat reserve  
**表 1.** 以储备总心跳百分比为指标的运动强度分级

	占最大储备总心跳百分比
小强度(S)	35% 以下
中等强度(M)	35%~59%
大强度(H)	60%~79%
次极量强度(S-E)	80%~89%
极量强度(E)	90% 及以上

除了上述分级方法, 我们还利用储备总心跳制定了根据运动量进行分级的方法。好处是可以把路程和海拔变化等运动量相关参量缩减为一个参量并提高准确性, 并且储备总心跳会减去个人的静息心率, 因此也可以使此分级方法尽量降低与个人的关联性, 增强其客观性。此分级方法见表 2。对于运动时不

同的气候条件, 可以将下表的等级乘以相应的系数来确定最终等级: ① 夏季中雨以上系数为 1.2, ② 严重的高温低气压系数为 1.5, ③ 冬季雪地系数为 1.2。

**Table 2.** Outdoor exercise intensity grading by total heart rate reserve  
**表 2.** 以储备总心跳数进行户外运动强度分级

	储备总心跳
0.5 级	8933 以下
1.0 级	8933~11,166
1.2 级	11,166~16,091
1.5 级	16,091~19,441
1.8 级	19,441~23,248
2.0 级	23,248~28,230
2.5 级	28,230 以上

## 5. 总结与建议

本工作针对普通户外运动爱好者的实际需求及测量的方便性, 确定了以总心跳作为反应运动强度的指标。通过实验对影响户外运动强度的主要因素进行了探究, 包括前进速度、前进负重、爬升速度、爬升负重、静息心率、身高、体重。这些因素与总心跳均呈现线性关系, 以此归纳出通过这些因素计算运动强度的公式。对公式准确性进行了初步的检验, 对一般人群有良好的稳定性。最后使用总心跳指标制定出了适用于大众的运动强度分级方法。

本工作的结果可与智能手机相结合, 使户外运动爱好者能够方便地测得运动强度及运动强度的等级, 并且能够更好地制定自己的运动计划。

本工作所得结果适用于有氧户外徒步及登山运动, 对于无氧运动及游泳等其他有氧运动的适用情况缺乏检验。本工作中的实验人群受限, 包括实验者的年龄、人种等, 如果需要则建议增加相应样本进行检验。

## 致 谢

感谢中国自然科学基金(grants No. 11705121)对本研究工作的资金支持, 感谢周丽坤、刘绪洋、马舸等志愿者对本研究工作实验部分的帮助与支持。

## 参考文献

- [1] Mounet, J.P. (2007) Outdoor Sports, Sustainable Development and Environmental Controversies. *Natures Sciences Sociétés*, **15**, 162-166. <https://doi.org/10.1051/nss:2007043>
- [2] Li, L.H. (2013) Thinking about the Development of Outdoor Sports Club in Time of National Fitness. *Journal of Sports and Science*, **34**, 99-103.
- [3] Dragonea, P., Zacharakis, E., Kounalakis, S., Kostopoulos, N., *et al.* (2019) Determination of the Exercise Intensity Corresponding with Maximal Lactate Steady State in High-Level Basketball Players. *Research in Sports Medicine*, **27**, 112-120. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1511559>
- [4] Cheng, X.F., Jiang, W. and Liu, Z.S. (2013) Study on a New Method of Human Body Exercise Intensity Detection. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, **34**, 1153-1159.
- [5] Grant, S., Corbett, K., Amjad, A.M., *et al.* (1995) A Comparison of Methods of Predicting Maximum Oxygen Uptake. *British Journal of Sports Medicine*, **29**, 147-152. <https://doi.org/10.1136/bjsm.29.3.147>
- [6] Reed, J.L. and Pipe, A.L. (2016) Practical Approaches to Prescribing Physical Activity and Monitoring Exercise Inten-

- 
- sity. *Canadian Journal of Cardiology*, **32**, 515-522. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2015.12.024>
- [7] Cleland, B., Pitluck, M., Ingraham, B., *et al.* (2011) Use of the Borg 6-20 RPE Scale Is Valid in Persons with Multiple Sclerosis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **43**, 87. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000402936.90745.2f>
- [8] Chen, Y.L., Chen, C.C., Hsia, P.Y., *et al.* (2013) Relationships of Borg's RPE 6-20 Scale and Heart Rate in Dynamic and Static Exercises among a Sample of Young Taiwanese Men. *Perceptual & Motor Skills*, **117**, 971. <https://doi.org/10.2466/03.08.PMS.117x32z6>
- [9] Shen, H.X., *et al.* (2016) Time Taken by Heart Rate to Become Stable under Different Exercise Intensities. *Military Medical Sciences*, **40**, 502-504.
- [10] Xmhao, R.C. (2002) Real-Time Heart Rate Monitoring in Sport Training. *Journal of Chengdu Physical Education Institute*, **40**, 89-91.
- [11] Levine, B.D. (2009) Sports Play at Altitude: How Will Altitude Affect My Athletes' Ability to Play Their Sport? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **41**, 60. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000353155.76831.bc>
- [12] Hayakawa, K., Isoda, N. and Yanase, T. (1989) Study of the Effects of Air Temperature and Humidity on the Human Body during Physical Exercise in the Summer. *Journal of Architecture Planning & Environmental Engineering*, **405**, 47-55. [https://doi.org/10.3130/aijjax.405.0\\_47](https://doi.org/10.3130/aijjax.405.0_47)
- [13] Hu, L., McAuley, E., Motl, R.W. and Konopack, J.F. (2007) Influence of Self-Efficacy on the Functional Relationship between Ratings of Perceived Exertion and Exercise Intensity. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, **27**, 303-308. <https://doi.org/10.1097/01.HCR.0000291298.70517.7e>
- [14] Gulgun, M., Fidanci, K.M. and Genc, F.A. (2015) Body Weight, BMI and Insulin Resistance as Influential Factors on Heart Rate Variability. *Respirology*, **20**, 846-846. <https://doi.org/10.1111/resp.12562>
- [15] Hui, L.Y. (2001) Comparison on Classification of Variety Exercise Intensity. *Shandong Sports Science & Technology*, No. 4, 20-22+25.