

手机运动软件测量健身走、跑能量消耗准确性的研究

张旭东, 周 洋

(四川师范大学 体育学院, 成都 610101)

摘 要: 目的: 比较不同手机运动软件测量人体在进行不同速度周期性运动时的能耗差异, 为广大运动爱好者在选择手机运动软件时提供参考依据。方法: 选取四川师范大学体育学院学生 32 名。受试者佩戴手机并同时开启动动、乐动力、咕咚三款手机运动软件, 分别以 4 km/h、6 km/h、8 km/h、10 km/h 的速度进行 5 min 的走/跑运动。同时用间接侧热法 K4b² 测量受试者运动时的能耗。结果: ①乐动力低估了实际能耗值, 咕咚则高估了实际能耗值, 但二者测量结果均比动动稳定。②4 km/h 速度下, 动动、乐动力、咕咚测得能耗值与校标测得能耗值的相关系数分别为 0.585、0.552、0.416, 速度提高到 10 km/h 时, 相关系数分别达到了 0.828、0.845、0.796 ($P < 0.01$)。③4 种速度下 (由慢到快), 与 K4b² 一致性最好的运动软件分别为动动、乐动力、动动、咕咚。结论: 手机运动软件不利于测量短距离周期性运动的能量消耗。不同运动软件对不同运动速度的能耗测量虽然存在差异, 但仍能得出较为可靠的能耗信息。面对市场上众多的手机运动软件, 使用者应根据运动需要有针对性地进行选择。

关键词: 手机运动软件; K4b²; 能量消耗; Bland-Altman

中图分类号: G804.49

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2016) 05-0059-08

随着电子科学技术的发展以及人们对自身健康的日益关注, 越来越多的人开始使用手机运动软件来监测自身日常的运动状况。Kirwan 等^[1]发现, 智能手机中大量 APP 能够充分利用其自带功能, 监测使用者的体力活动、饮食、社交等日常行为。其中 GPS 类手机运动软件, 基于全球 GPS 技术, 追踪运动路线和距离, 结合运动时间计算出运动者的速度、能量消耗等监测指标, 其操作简单, 且相应指标直接应用界面给出, 较为普及。

Zandbergen 等^[2]曾将一款摩托罗拉手机获取的 GPS 数据与高精度手持 GPS 仪器数据进行对比, 结果表明: 用手机测得室外动态位置信息中, 水平误差在 30 m 以内, 手机 GPS 类软件对位置信息的捕捉是比较可靠的。Benson 和 Bruce

等^[3], 使用 GPS 运动软件, 对 23 名女性和 17 名男性在跑道上进行走/跑运动研究, 结果显示这款软件记录的跑动距离和平均速度的误差率 $\leq 3\%$ 。这些研究都提到了手机软件中 GPS 在监测体力活动方面的重大作用, 但对 GPS 类手机运动软件测量运动时能量消耗的研究较少。

目前, 国内代表性的 GPS 类运动软件有咕咚运动、乐动力等。明鑫、王斌^[4]的研究中, 同时开启 4 款此类运动软件绕操场正常步行 4 圈的测量结果与间接热量测定法的监测结果进行比对研究, 得出咕咚运动、益动 GPS、Runtastic、RunKeeper 4 款手机运动软件均不能准确测量 20—23 岁年龄段人群的步行运动能量消耗的结论。这是在步行速度下进行的测量, 而不同速度下各软件测量结果的差异性还有待研究。

收稿日期: 2016-04-07

基金项目: 四川省科技厅应用基础项目“城市青少年体力活动建成环境关键技术研究”(2015ZR0214)

作者简介: 张旭东 (1989—), 男, 河北定州人, 硕士, 研究方向为体力活动测量与评价。

在数据分析方法方面,过去常用配对T检验、相关分析、回归分析等对定量数据进行一致性分析,但是这些方法均不准确,甚至是错误的^[5],而Bland-Altman法是用于评价两种测量方法一致性的标准方法^[6-7]。

本文以K4b²测得人体在4种不同速度下运动时的能量消耗值作为校标,同时用动动、乐动力、咕咚运动三款手机运动软件测量受试者的能量消耗,采用Bland-Altman法对两种方法的测量结果进行一致性检验。从而了解三款手机运动软件各自的优缺点,为广大健身运动爱好者在手机运动软件选择方面提供参考依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

随机选取四川师范大学体育学院32名学生为受试,男生16名,女生16名。男生平均年龄为 23.38 ± 1.54 岁,女生的平均年龄为 21.69 ± 2.12 岁。受试者基本情况见表1。

表1 受试者的基本情况(N=32)

形态指标	男生	女生
身高/cm	173.41 ± 5.55	164.19 ± 4.28
体重/kg	66.75 ± 7.46	57.08 ± 4.93
BMI指数	21.8 ± 1.48	21.18 ± 1.67

1.2 测试方法

1.2.1 身体形态测量

采用国产恒康佳业HK-6000身高体重测量仪,统一对受试者的身高体重进行测量,并计算BMI指数。

1.2.2 配速问题

首先,将400m的跑道分成等距的80个小距离,并且每隔5m做一个标记。

然后,制作4个不同频率的音频文件,每个音频文件按预定间隔的时间发出“滴滴”的提示声,声音的间隔时间分别为4.5s、3s、2.25s、1.8s。最后,将制作好的4个音频文件用数码扩音器进行播放。在播放音频时,受试者随提示音沿标记好的跑道进行走/跑运动,扩音器每响一次声音,受试者就要到达跑道线上的标记处。这样,在播放第1个音频(间隔时间4.5s)时,受试者的速度为 $4.5\text{ s}/5\text{ m}$,即为4 km/h。同理,受试者在播放第2、第3、第4个音频时的运动速度就分别为6 km/h、8 km/h、10 km/h。

1.2.3 数据采集

本实验采用一部iPhone5C智能手机(ios8.4)。受试者佩戴手机并同时开启动动(3.6.0版本)、乐动力(乐跑步1.8版本)、咕咚(6.2.2版本)3款手机运动软件,分别以4 km/h、6 km/h、8 km/h、10 km/h四个阶段的速度围绕已经标记好了的400m跑道线各进行5min的走跑运动。同时,受试者佩戴K4b²,用间接测热法测定受试者运动中的能量消耗。本研究中,以间接测热法测得的能量消耗值为参照标准(校标)。

1.2.4 测试流程

开始测试前先将受试者的身高体重录入到各测试设备中,受试者穿戴好设备,打开手机中的三款软件并将手机置于左侧腹部口袋中,随后受试者站在跑道上。当K4b²按下enter键记录数据时受试者开始运动。4种速度的走跑运动由慢到快依次进行,每个速度的持续时间为5min,间隔时间为3min。受试者进行测试时,一名测试人员将扩音器挎于腰间靠近受试者一侧并全程跟随受试者进行数据采集工作。各阶段运动结束后3min的间隔时间里,测试人员取下手机将3款软件记录的运动数据截屏保存,并设置下一阶段扩音器所需播放的音频内容。K4b²所测得的能量消耗值于相应的时间段内在电脑上提取。

1.3 统计方法

采用SPSS22.0对数据进行处理和分析,其中包括:对各变量的均数和标准差($\bar{X} \pm S$)进行描述;采用Spearman相关系数分析各变量间的相关性。采用MedCalc16.2.0软件中的Bland-Altman(以下简称BA)法对两种测量方法的一致性进行评价。根据该方法的基本思想,计算两种测量方法差值的均数及差值的95%分布范围(即一致性界限 $LoA, \bar{d} \pm 1.96S_d$),应该有95%的差值位于一致性界限内。根据前人研究的结果,差值均数线越接近差值均数为0的假想虚线,说明两组测量数据的平均值差别较小,两种测量方法的系统误差较小^[8]。本文主要以图中差值的均数、结合 LoA 范围内的点数作为考察两种方法一致性的标准。

2 研究结果

2.1 三款手机软件与校标测量的总能耗结果

总能耗为4种速度能量消耗之和。校标、动

动、乐动力、咕咚测得的总能耗分别为 142.0 ± 18.05 、 149.6 ± 18.59 、 130.0 ± 23.01 、 153.76 ± 19.95 (图1)。可以看出:总能耗累积方面,动动与咕咚两款软件或多或少地高估了运动的能量消耗,而乐动力则低估了能量消耗。

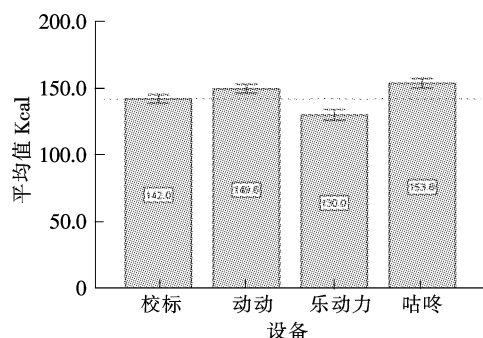


图1 手机运动软件与校标测得的总能耗值比较 (N=32)

2.2 手机运动软件与校标各阶段测得的能量消耗平均值

如图2所示,随着运动速度的加快,在相同的时间里运动距离不断增加,四种测量方法测得的能耗值也处于上升趋势。值得注意的是,第3

阶段到第4阶段,动动的上升速度明显快于其他三种方法。

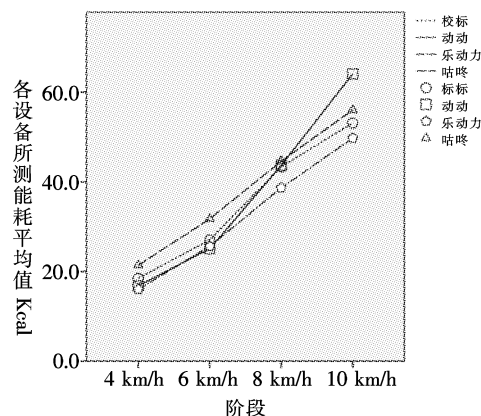


图2 手机运动软件与校标各阶段测得的能量消耗平均值走势图 (N=32)

各阶段校标测量值与三款手机运动软件测量值的独立样本 T 检验结果见表2。随着速度的加快,手机运动软件测得的能耗值与校标测得的能耗值之间的显著性差异出现次数在减少。

表2 各阶段手机运动软件能耗值与校标能耗值独立样本 T 检验 (N=32)

设备	阶段一	阶段二	阶段三	阶段四
校标	18.50 ± 2.94	27.08 ± 3.12	43.35 ± 6.04	53.09 ± 6.46
动动	$16.84 \pm 2.38^*$	$25.06 \pm 3.56^*$	43.66 ± 6.38	$64.03 \pm 7.81^{**}$
乐动力	$16.03 \pm 3.44^{**}$	25.63 ± 4.14	$38.66 \pm 7.12^{**}$	49.72 ± 9.12
咕咚	$21.41 \pm 3.21^{**}$	$31.74 \pm 4.05^{**}$	44.59 ± 5.90	56.02 ± 7.92

注: * 与 ** 均表示手机运动软件能耗值与校标能耗值比较,其中 * 代表 $P < 0.05$, ** 代表 $P < 0.01$ 。

2.3 手机运动软件与校标各阶段测得的能量消耗值的相关性

各阶段手机运动软件所测能耗值与校标所测能耗值之间的 Spearman 相关系数分析结果见表3。从相关系数上看,随着速度的增加,手机运动软件测得的能耗值与校标测得的能耗值的相关系数也在提高。

表3 各运动阶段手机运动软件能耗值与校标能耗值相关系数 (N=32)

设备	阶段一	阶段二	阶段三	阶段四
动动	0.585**	0.652**	0.801**	0.828**
乐动力	0.552**	0.702**	0.825**	0.845**
咕咚	0.461**	0.614**	0.772**	0.796**

注: ** 表示手机运动软件能耗值与校标比较, $P < 0.01$ 。

2.4 手机运动软件测量能耗值与校标测量能耗值的一致性检验

本研究中 BA 图, y 轴表示同阶段校标测量能耗值与手机运动软件测量能耗值的差值; x 轴表示同阶段校标测量能耗值和手机运动软件测量能耗值的平均值。例如,阶段一校标与动动的一致性检验: y 轴为 (校标 1 - 动动 1), x 轴为 (校标 1 + 动动 1) / 2。

2.4.1 第一阶段手机运动软件能耗值与校标能耗值的一致性检验

第一阶段三款手机运动软件能耗值与校标能耗值的 BA 图 (图3—图5) 显示: 32 个点中图3和图5有1个位于 LoA 范围以外, 比例为 3.13%, 图4有2个位于 LoA 范围以外, 比例为 6.25%; 图3、图4、图5的差值均数分别为

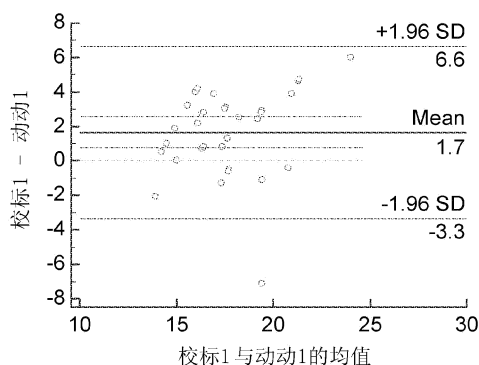


图3 一阶段校标能耗与动动能耗 BA 图

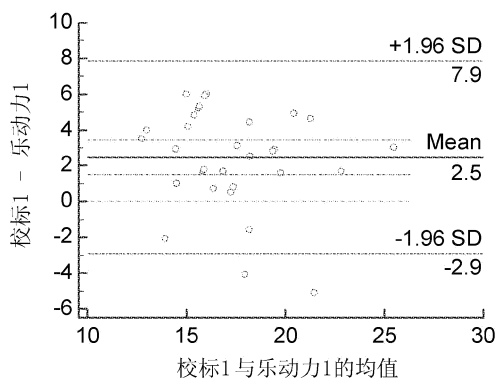


图4 一阶段校标能耗与乐动力能耗 BA 图

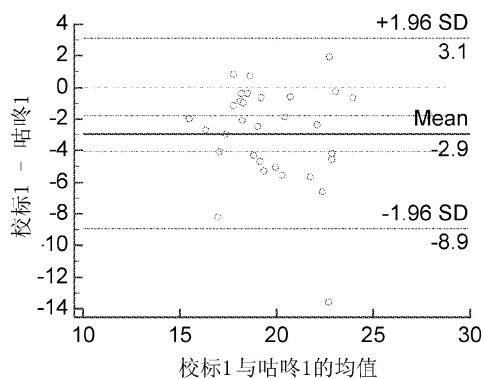


图5 一阶段校标能耗与咕咚能耗 BA 图

1.7、2.5、-2.9, 最靠近差值为0的假想虚线的是图3。结合差值的均数及LoA范围内的点数, 第一阶段运动中, 三款软件测量能耗时与校标一致性较好的是动动, 其次是咕咚, 最后为乐动力。

2.4.2 第二阶段手机运动软件能耗值与校标能耗值的一致性检验

第二阶段三款手机运动软件能耗值与校标能耗值的BA图(图6—图8)显示: 乐动力LoA

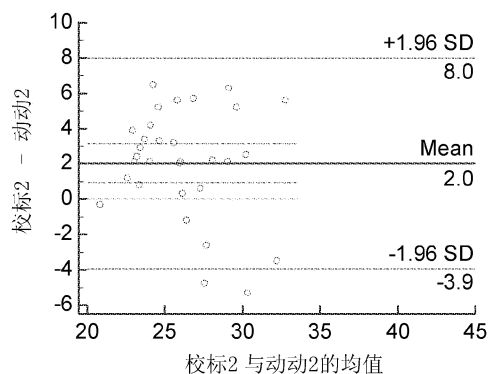


图6 二阶段校标能耗与动动能耗 BA 图

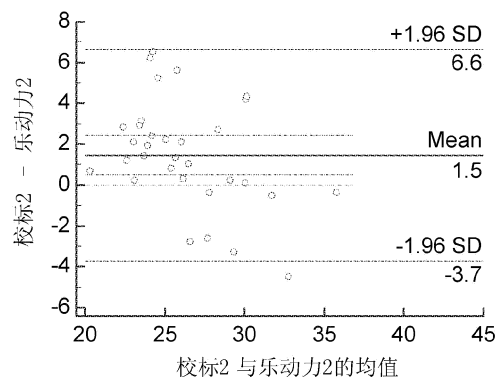


图7 二阶段校标能耗与乐动力能耗 BA 图

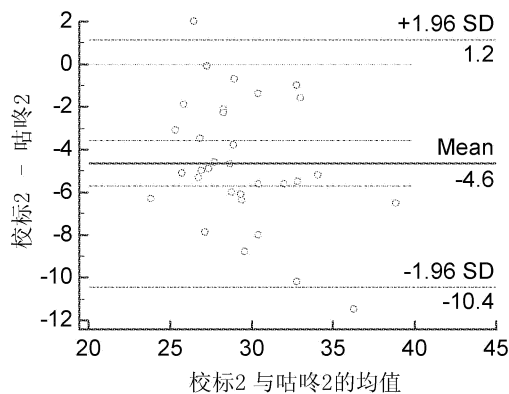


图8 二阶校标能耗与咕咚能耗 BA 图

范围内点数多、差值的均值更靠近0。因此, 本阶段与校标一致性较好的软件依次为乐动力、动动、咕咚。

2.4.3 第三阶段手机运动软件能耗值与校标能耗值的一致性检验

第三阶段三款手机运动软件能耗值与校标能耗值的BA图(图9—图11)显示: 本阶段内三者差值的均数最靠近差值为0的为动动, 最远的为乐动力。结合LoA范围内的点数, 本阶段中

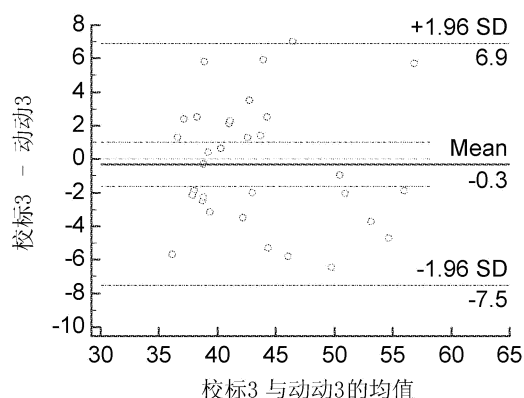


图9 三阶段校标能耗与动动能耗 BA 图

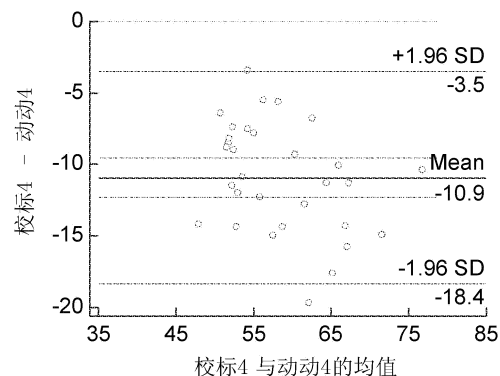


图12 四阶段校标能耗与动动能耗 BA 图

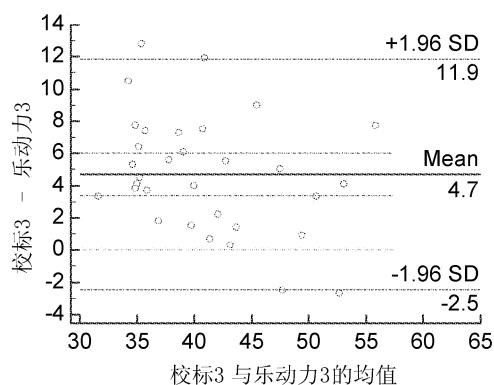


图10 三阶段校标能耗与乐动力能耗 BA 图

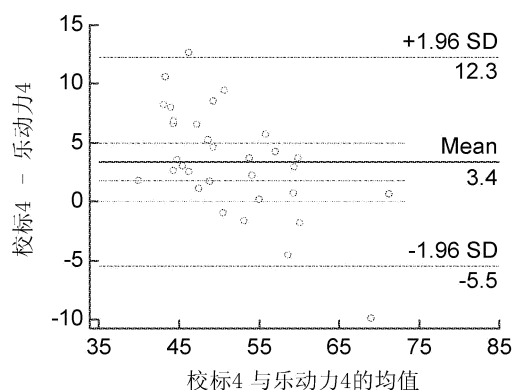


图13 四阶段校标能耗与乐动力能耗 BA 图

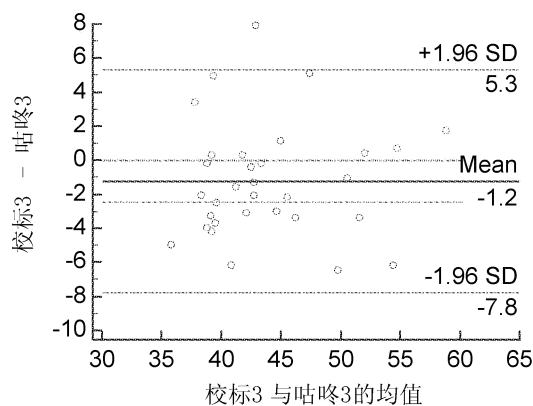


图11 三阶段校标能耗与咕咚能耗 BA 图

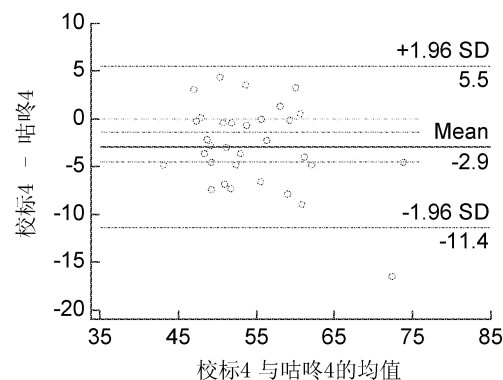


图14 四阶段校标能耗与咕咚能耗 BA 图

动动的测量值与校标测量值最一致,其次为咕咚,最后是乐动力。

2.4.4 第四阶段手机运动软件能耗值与校标能耗值的一致性检验

第四阶段三款手机运动软件能耗值与校标能耗值的 BA 图(图12—图14)显示:本阶段内三者差值的均数依次为-10.9、3.4、-2.9,最靠近差值0的为咕咚。三款软件在本阶段一致性

由高到低依次为咕咚、乐动力、动动。值得注意的是:本阶段校标能耗与动动能耗 BA 图中,差值为0的假想虚线并不在 LoA 范围内,而是在其上方,且差值均数为-10.9,远远小于乐动力(3.4)和咕咚(-2.9),这说明动动在第四阶段测量能耗值时过于高估了能量消耗,与校标的实测值一致性较差(见图15)。

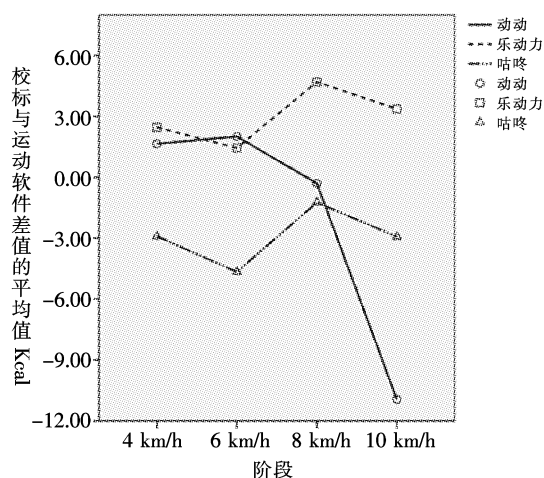


图 15 各阶段校标与手机运动软件差值的均数走势图

3 分析与讨论

虽然已经存在关于手机运动软件的研究,但研究成果数量较少,还处于初步探索阶段。本文选取3款手机运动软件,以K4b²作为参考依据,同时测量4种运动速度下的能量消耗,并采用公认较好的方法比较两种测量方法的一致性,具有较高的研究价值。

3.1 测试结果可靠性分析

本试验中采用意大利产COSMED K4b²便携式心肺功能测试仪进行能量消耗测试。国外有研究发现,K4b²测量能耗的重复性和准确性较高^[9-11],该方法被广泛用于安静和运动过程中的能量代谢测定,并且被视为短时热量测定方法的金标准^[12]。动动、乐动力和咕咚运动3款运动软件在使用中显示实时的能耗值,便于记录,且在应用市场上下载量排序较为靠前,因此本文选取这三款运动软件进行研究。

3.2 三款手机运动软件运动距离测量差异

研究中分别对每一款运动软件测得的能耗值与其测量距离绘制了简单散点图(图16—图18)。三幅图对比可以看出:动动对于距离的测量取值几乎都是整数,且咕咚在每个速度下的数据分布更为紧凑。各软件对距离捕捉的差异验证了Benson等人研究^[3]中遇到的问题:除非研究者自己研发运动软件,不然软件中数据信息的演算方程是无法得知的。演算方法不同,给出的最终能耗值就会有差异。

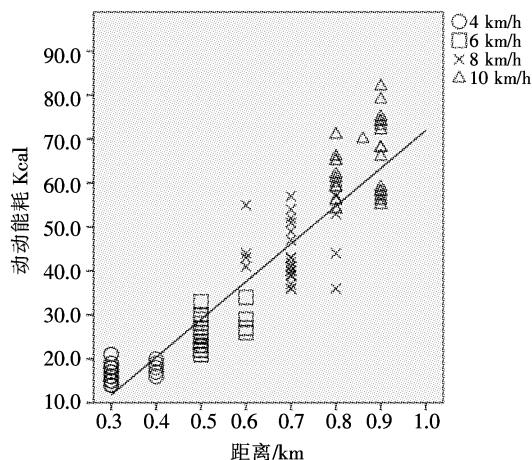


图 16 动动能耗值与距离的散点图

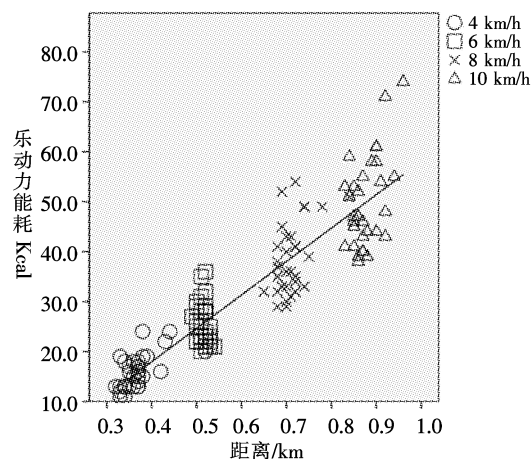


图 17 乐动力能耗值与距离的散点图

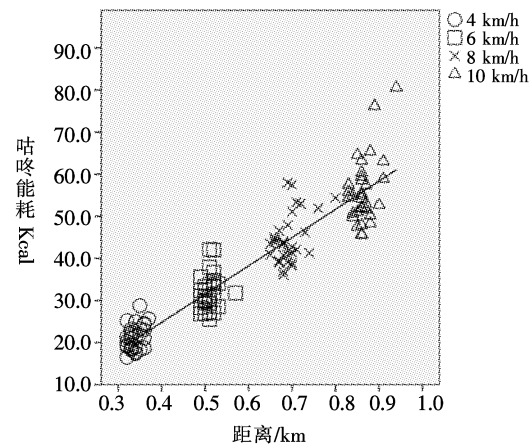


图 18 咕咚能耗值与距离的散点图

3.3 4种速度下手机运动软件测量能耗值与实际能耗值的数据分析

手机软件的测量结果虽然存在一些差异,但

还是能从这些手机运动软件中获取较为有效的能耗信息。Benson 等人的研究^[3]认为:对于普通群体的测量工具而言,其效度不能只关注数值上的显著性差异,还要将这种差异考虑到实际当中。本研究中,除去 10 km/h 速度下的动动,4 种速度下校标与各软件测得能耗值差值的均数都在 ± 6 Kcal 以内,这在实际运动中可以接受。验证了 Benson 等人^[3]的观点:对于普通大众来说,手机运动软件利用 GPS 技术测量小于 25 km/h 的运动,其测量结果是可以接受的。然而,运动距离过短,能耗值低,手机运动软件测得的能耗值参考价值不大。比如在第一阶段内,一致性界限内校标能耗与动动能耗差值最大达到了 6 Kcal,而两种方法的平均值为 17.67 Kcal,这样的结果是不能令人满意的。

3.4 手机 GPS 预测和加速度计预测的区别和比较

GPS 类运动软件的优点是操作简单,相应指标直接应用界面给出,较为普及;不足之处是 GPS 信号不好时不利于测量,移动范围不大的运动测量误差较大,以及多发生于上肢的运动可能无法测量等。

手机内置的加速度传感器可收集运动时矢状轴、额状轴、垂直轴三个方向上的 count 值,再将数据导入电脑中分析。此类软件的优点在于不依赖 GPS 定位,多维度测量准确性高,Ferrer 等^[13]在相关研究中就有说明。然而该类软件普及性不高,原因就在于其测量时收集的数据资料为原始的 count 值,计算方法较复杂。如何整合 GPS 与加速度计进行更为准确且方便操作的测量,将是手机运动软件开发商日后研究的重点。

3.5 本研究存在的不足之处

(1) 样本含量低。本研究只有 32 名受试者的测试值可用于分析,样本含量不高,对一致性分析有一定的影响,然而这并不能决定一致性分析的整体结果,有关研究应用本方法成功完成了对 16 名受试者的一致性分析^[10]。

(2) 测试时间不长。本研究中每个速度下的测试时间为 5 min,对于能量消耗在该阶段的累积值过小,导致一致性分析上的一些问题。

(3) 没有测量各阶段实际的运动距离。运动距离对于 GPS 类手机运动软件测量能量消耗来说意义重大,而本研究在试验中没有测量和记录下受试者在各阶段的实际运动距离。这就无法分

析各软件测量距离的准确性以及距离与能耗之间的关系,进而无法进行深入研究。

3.6 后续相关研究方向

应用手机运动软件对体力活动进行监测的运动爱好者越来越多,而体力活动不仅局限于跑步这样的周期性运动,开发多种不同计算方法、充分利用手机自带功能(运动传感器)的软件将是各开发商的研究重点。本研究测试时将手机置于左侧腹部位置,而不同佩戴位置是否会对研究结果有影响还不得而知;更快的速度下,手机运动软件测量能耗的差异会有什么不同;更长时间的低速运动条件下,测量效果是否会更好等等都还需要进一步研究验证。手机 GPS 软件与其内置加速度计结合测量也将是后续相关研究的方向。

4 结论与建议

在测量速度为 4 km/h、6 km/h、8 km/h、10 km/h 的周期性运动时,动动低估了前两个速度运动中的实际能耗值,高估了后两个速度运动中的实际能耗值;乐动力均低估了实际能耗值;咕咚运动则都高估了实际能耗值。本研究发现:相比咕咚与乐动力,动动在测量不同速度下能耗时的一致性不稳定。建议在速度达到 10 km/h 及以上时,以及从事存在改变运动速度的周期性运动时,不推荐使用动动;为健身、减肥而进行有氧跑步运动的人群,可优先考虑使用乐动力;对于距离较短的周期性运动,采用手机运动软件测量能量消耗值是不太理想的。

参考文献:

- [1] Kirwan M, Duncan M, Vandelanotte C. Smartphone apps for physical activity: A systematic review[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2013, 16 (S1):e47.
- [2] Zandbergen P A, Barbeau S J. Positional accuracy of assisted gps data from high-sensitivity gps-enabled mobile phones[J]. Journal of Navigation, 2011, 64 (3):381-399.
- [3] Benson A C, Bruce L, Gordon B A. Reliability and validity of a GPS-enabled iPhone™ “app” to measure physical activity[J]. Journal of sports sciences, 2014, 33(14):1-8.
- [4] 明鑫,王斌.手机运动软件与 K4b² 测量步行运动能耗的比较研究[J].安徽体育科技,2015,36(3):55-58.

- [5] 萨建,刘桂芬. 定量测量结果的一致性评价及 Bland-Altman 法的应用[J]. 中国卫生统计, 2011, 28(4): 409-411.
- [6] Ludbrook J. Confidence in Altman - Bland plots: a critical review of the method of differences[J]. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 2010, 37(2): 143-149.
- [7] Bland J M, Altman D G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement[J]. The lancet, 1986, 327 (8476): 307-310.
- [8] 陈卉. Bland-Altman 分析在临床测量方法一致性评价中的应用[J]. 中国卫生统计, 2007, 24 (3): 308-309.
- [9] Duffield R, Dawson B, Pinnington H C, et al. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b² portable gas analysis system[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2004, 7(1): 11-22.
- [10] Eisenmann J C, Brisko N, Shadrick D, et al. Comparative analysis of the Cosmed Quark b² and K4b² gas analysis systems during submaximal exercise[J]. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 2003, 43(2): 150-155.
- [11] Pinnington H C, Wong P, Tay J, et al. The level of accuracy and agreement in measures of FEO₂, FECO₂ and VE between the Cosmed K4b² portable, respiratory gas analysis system and a metabolic Cart[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2001, 4(3): 324-335.
- [12] 孙锐, 杨晓光, 朴建华. 气体代谢法及其典型设备 K4b² 在能量代谢测量中的应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2005, 17(5): 445-448.
- [13] Ferrer S, Ruiz T. Travel Behavior Characterization Using Raw Accelerometer Data Collected from Smartphones[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014(160): 140-149.

Study on the Accuracy of Energy Consumption of Walking and Running Measured by Mobile Phone Sport APPs

ZHANG Xu-Dong, ZHOU Yang

(School of Physical Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China)

Abstract: *Objective:* To compare the energy consumption of cyclical movement at different speeds measuring by various phone sports APPs, so as to provide a reference in the choice of mobile phone sport APPs for the majority of sports enthusiasts. *Methods:* 32 college students from School of Physical Education, Sichuan Normal University are selected. Tested students take the phone and turn on three mobile phone sport APPs: Dongdong (DD), Ledongli (LDL), and Gudong Yundong (GD). Then the tested students walk or run with the speed of 4 km/h, 6 km/h, 8 km/h, 10 km/h speed respectively for 5 minutes. meanwhile K4b² is applied to measure the energy consumption. *Results:* ①LDL underestimates the actual energy consumption, GD overestimates the actual energy consumption, but both measurements are more stable than DD. ②For 4 km/h speed, the correlation coefficient between K4b² and DD, LDL, GD are 0.585, 0.552, 0.416 respectively, When speed goes up to 10 km/h, the correlation coefficients reaches 0.828, 0.845, 0.796 respectively ($P < 0.01$). ③For all speeds (from slow to fast), the best consistency with K4b² are DD, LDL, DD and GD respectively. *Conclusion:* Phone sports APPs are not appropriate to measure the energy consumption of the low-speed movement. Although there are differences in different phone sports software to measure the energy consumption with different speed movement, they can still obtain reliable information of energy consumption. With so many phone sports APPs, users should select according to their actual needs.

Key words: mobile phone sport APPs; K4b²; energy consumption; Bland-Altman