

平板运动试验对马拉松运动成绩的估测意义

沈松萃 徐迎佳 潘艺超 陆志芳 巨鹏亮

摘要 目的 探讨平板运动试验对马拉松运动时间的预测性。**方法** 纳入 2016 年 10 月 ~ 2017 年 1 月参与正规公路马拉松全程、半程及 10km 赛事的业余运动员 172 例,赛前 2 ~ 4 周进行平板运动试验,并要求受试者运动至体力耗竭。分析试验数据与完赛时间的相关性。**结果** 各组的试验总运动时间、最大速度及坡度、运动终止达到的级数和累计代谢当量均与完赛时间呈负相关($P < 0.01$)。全程马拉松组中的年龄与完赛时间表现呈负相关($P < 0.01$),并且不同年龄显示出试验对成绩预测性的差异。全程马拉松和 10km 马拉松组恢复期 1min 末心率自峰值下降比与完赛时间呈负相关($P < 0.05$)。**结论** 平板运动试验作为马拉松运动员赛前心脏风险的有效筛查手段,同样对心脏耐力水平和运动成绩有评估价值。

关键词 平板运动试验 马拉松 运动成绩 预测

中图分类号 R874.1

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2017.11.024

Predictive Value of Treadmill Test for the Assessment of Marathon Performance. Shen Songcui, Xu Yingjia, Pan Yichao, et al. Shanghai Chest Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China

Abstract Objective To explore the prediction of marathon performance using treadmill test. **Methods** A cohort of 172 recreational runners, who entered in formal road marathon, half marathon, and 10 km events, was recruited from October 2016 to January 2017. The study participants completed a treadmill test to voluntary exhaustion and the correlation between test data and marathon race time 2 - 4 weeks later was analyzed. **Results** Significant negative correlation was found between treadmill time, peak running speed, peak running gradient, peak running stage, total metabolic equivalents (METS) and marathon race time ($P < 0.01$) among all the groups. Age showed significantly negative correlation with race time ($P < 0.01$) in marathon group. In addition, the prediction for marathon performance time was influenced by the age in this group. Decline of percentage of target HR from peak exercise to 1 min post-exercise negatively correlated with race time ($P < 0.05$) between the marathon and 10 km groups. **Conclusion** Treadmill test provides an effective method for the marathon runner to screen heart risk, to assess cardiac endurance and to predict athletic performance before race.

Key words Treadmill test; Marathon; Athletic performance; Prediction

近年来,参与马拉松运动的业余选手逐年递增。然而,赛中发生心源性猝死(SCD)的例数也随之攀升。平板运动试验作为心电图运动负荷试验最常见的手段,能较好地检出心脏隐患。由于其简单、无创、经济等优点,已被越来越多应用于马拉松赛事前的体检中。同时,该试验能通过多项参数评估受试者心脏耐力水平。Till 等^[1]报道了一项在马拉松运动员中进行的多中心研究结果,提示平板运动试验对运动成绩的良好预估作用。本研究募集 2016 年 10 月 ~ 2017 年 1 月参与国内外正规公路马拉松赛事的业余运动员,于上海市胸科医院心功能室接受极量平板运动试验,比较受试者各项参数与 2 ~ 4 周后完赛成绩的相关性,旨在探寻该试验在国内马拉松运动人群中

的评估和指导价值。

对象与方法

1. 对象:(1)纳入标准:选择 2016 年 10 月 ~ 2017 年 1 月参与国内外正规公路马拉松赛事的业余运动员,其中年龄限于 20 ~ 59 周岁,参与赛事组别限于全程马拉松(42.2km)、半程马拉松(21.1km)及 10km 赛段。比赛成绩由赛事主办方提供的标准计时芯片采集。按上述标准采集到样本 182 例。(2)排除标准:根据 2002 年 ACC/AHA 心电图运动负荷试验指南,归入试验禁忌证者^[2];近期有下肢运动损伤,不能承受试验要求的运动负荷;试验前两次测及血压均 $> 140/90\text{mmHg}$ ($1\text{mmHg} = 0.133\text{kPa}$)。

2. 研究方法:(1)试验设备和方案:试验使用美国 GE 公司 T2100 型平板仪,美国 SunTech Tango M2 平板运动血压监测仪,按照 Bruce 方案进行检测。(2)阳性诊断标准:运动中或运动后出现典型心绞

痛;心电图以 R 波为主导联见 ST 段水平型或下垂型压低 $\geq 1\text{mm}$,持续 2min 以上;或 ST 段下降在原有基础上再下降 $\geq 1\text{mm}$,持续 2min 以上;出现恶性心律失常^[2]。(3)运动终止指标:受试者感到力竭,经鼓励仍不能继续运动;出现心绞痛;血压明显下降或血压上升超过 220/110mmHg;ST 段水平型或下垂型压低 $\geq 3\text{mm}$ 或 ST 段明显抬高;出现恶性心律失常^[2]。(4)观察指标:①基础指标:包括受试者性别、年龄、参加正规马拉松训练的时间(年)、每周训练时间(小时/周)、每周训练累计距离(千米/周);②试验监测指标:总运动时间(min)、最大速度(英里/小时)、最大坡度($^{\circ}$)、运动终止达到的级数、累计代谢当量(METS)、最大心率/目标心率($\%$)、恢复期 1、2、3 分末心率自峰值下降比,即(最大心率 - 恢复期 1、2、3min 末心率)/目标心率($\%$);③随访指标:通过网站查询及电话随访相结合的方式了解受试者完赛情况,采集芯片成绩。

3. 统计学方法:采用 SPSS 16.0 统计学软件进行统计分析。计量资料采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,计数资料采用频数和百分率($\%$)表示,数据分析采用单因素线性相关分析与多因素线性回归分析相结合的方式,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

表 1 Bruce 分级活动平板试验分级标准^[3]

级别	时间(min)	速度(英里/小时)	坡度($^{\circ}$)
1	3	1.7	10
2	3	2.5	12
3	3	3.4	14
4	3	4.2	16
5	3	5.0	18
6	3	5.5	20
7	3	6.0	22

结 果

1. 基线资料:182 例样本中,2 例因试验中出现 ST 段压低并达到阳性诊断标准而终止试验,另有 2 例因恢复期 ST 段压低达到阳性标准。所有试验样本阳性率 2.2% (4/182)。7 例在赛前退赛、1 例在比赛途中退赛。共计 10 例样本被剔除研究。实际采纳样本 172 例,其中男性 135 例 (78.5%),女性 37 例 (21.5%),平均年龄 38.9 ± 10.6 岁,按赛事距离分为 3 个组别,其中全程马拉松组 68 例,半程马拉松组 56 例,10km 马拉松组 48 例。

2. 各主要基线因素对试验运动时间的影响:表 2 通过主要基线因素(因女性比例较低未单独列出分析)对试验运动时间作了多因素回归分析,旨在探究基线水平差异对试验参数的影响。年龄、每周训练时间和距离均影响试验运动时间,而训练年数与试验运动时间没有独立相关性。

表 2 各主要基线因素对试验运动时间的多因素回归分析 $[t(P)]$

项目	全程马拉松组	半程马拉松组	10km 马拉松组
年龄	-3.665(0.001)	-3.783(0.000)	-4.203(0.000)
训练年数	1.446(0.153)	0.373(0.710)	0.229(0.820)
每周训练时间	-2.436(0.018)	-2.404(0.020)	-3.252(0.002)
每周训练距离	2.904(0.005)	3.351(0.002)	3.935(0.000)

3. 试验参数与完赛成绩相关性概况:所有 3 个组的试验运动时间、最大速度、最大坡度、运动终止达到的级数、累计代谢当量均与完赛时间呈负相关($P < 0.01$,表 3)。研究统计恢复期 1、2、3min 末心率自峰值下降比,经数据分析发现,仅全程马拉松组和 10km 组恢复期 1min 心率自峰值下降比显示出与完赛时间的负相关性($P < 0.05$,表 3),其他各阶段心率变化均未显示出与比赛时间呈相关性。

表 3 各组试验参数与马拉松完赛时间的相关性 $[r(P)]$

观测指标	全程马拉松组	半程马拉松组	10km 马拉松组
总运动时间	-0.518(0.000)	-0.722(0.000)	-0.630(0.000)
最大速度	-0.472(0.000)	-0.631(0.000)	-0.600(0.000)
最大坡度	-0.524(0.000)	-0.642(0.000)	-0.595(0.000)
运动终止时级数	-0.547(0.000)	-0.643(0.000)	-0.635(0.000)
累计代谢当量	-0.449(0.000)	-0.685(0.000)	-0.604(0.000)
恢复期 1min 末心率下降比	-0.292(0.016)	-0.263(0.050)	-0.358(0.013)
恢复期 2min 末心率下降比	-0.064(0.601)	-0.108(0.430)	-0.042(0.778)
恢复期 3min 末心率下降比	0.041(0.742)	0.053(0.700)	0.191(0.194)

4. 影响完赛时间因素的分析:本研究参考 Till 等^[1]的方法,将可能影响完赛时间的基线因素(年龄、训练年数、每周训练时间和距离)与反映心脏耐量的重要试验参数(总运动时间)对完赛时间做了多因素回归分析。如表 4 所示,除试验运动时间是完赛时间的独立预测因子外($P=0.000$),年龄在全程马拉松组中与完赛时间呈负相关($P<0.01$),是该组中影响成绩的独立因素。除训练年数在半程马拉松组中与完赛时间有一定相关性($P<0.05$)外,训练的各项参数均与完赛时间缺乏独立相关性。

表 4 各主要因素对完赛时间的多因素回归分析 $t(P)$			
项目	全程马拉松组	半程马拉松组	10km 马拉松组
年龄	-3.219(0.002)	-1.172(0.247)	0.269(0.789)
训练年数	-0.484(0.630)	-2.047(0.046)	-1.652(0.106)
每周训练时间	1.682(0.098)	-0.533(0.596)	-0.025(0.980)
每周训练距离	-1.663(0.101)	0.281(0.780)	-0.536(0.595)
试验运动时间	-5.353(0.000)	-6.947(0.000)	-3.976(0.000)

5. 各年龄分组统计学对比:年龄作为影响全程马拉松成绩的重要因素被进一步着重探究。将全程马拉松参赛组按年龄分为 20~29、30~39、40~49、50~59 岁 4 个亚组,数据显示 20~29 年龄组试验运动时间与完赛时间虽呈统计学相关($P<0.05$),但相关性显然不及另外 3 组(表 5),通过图 1 发现 20~29 岁组数据点较其他组呈更为散在的分布。

表 5 全程马拉松组各年龄亚组试验运动时间与完赛时间相关性			
年龄分组	相关系数	P	样本数
20~29 岁	-0.535	0.049	14
30~39 岁	-0.707	0.000	20
40~49 岁	-0.805	0.000	22
50~59 岁	-0.844	0.000	12

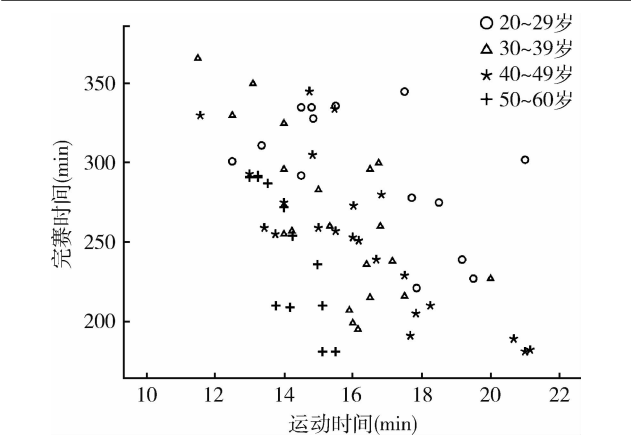


图 1 全程马拉松各年龄组试验运动时间与完赛时间相关性

近年来由于马拉松比赛中心源性猝死的报道屡见不鲜,现场专业急救力量被不断加强的同时,赛前的医学筛查手段如平板运动试验因能发现不少心脏潜在风险,也为运动员提供了一道安全保障。不仅如此,一些研究已发现平板运动试验对马拉松运动成绩的预测价值。Till 等^[1]对 59 例参加全程马拉松的业余运动员进行此项试验,要求其运动至体力耗竭并随访 2 周后的完赛成绩,发现受试者平板运动时间与比赛时间呈显著的相关性($P<0.01$)。本研究参考了 Till 等^[1]的方法,对试验观测指标及比赛涵盖距离作了进一步拓展,分析试验运动时间、累计代谢当量等多项参数与全程、半程马拉松及 10km 赛段成绩的相关性,差异均有统计学意义。

分析以上结果的原因是 Bruce 分级运动试验能有效反映心脏的有氧耐力状况,而这与马拉松运动的成绩息息相关。在决定长距离耐力运动表现的因素中,最大摄氧量被认为是很重要的指标,而它与 Bruce 方案测得的累计代谢当量(METS)呈正相关,和其他参数也存在密切关联^[4,5]。在设备条件有限而无法通过仪器直接测定最大摄氧量时,平板运动试验就为运动员提供了心肺耐量参考,可指导其训练和备赛。

训练是决定马拉松运动员成绩的另一个重要因素,本研究中的试验运动时间是对训练状况的反映(表 2),当然这种反映更多体现在训练频度而非跑龄上。Till 等^[1]的研究显示每周训练时间和正规训练年数均非全程马拉松运动成绩的独立预测因子。而 Hagan^[6]与 Tanda^[7]的研究均得出每周训练累计距离更有成绩预测意义的结论。本研究中,仅训练年数在半程马拉松组中与完赛时间存在一定的独立相关性(表 4, $P<0.05$),其他训练数据均不能作为成绩的独立预测因子,与 Till 等^[1]的结论基本一致。

本研究采用传统的 Bruce 方案进行试验,与 Till 等^[1]的运动方案略有不同。考虑到平板试验同时作为赛前心脏疾病筛查手段,需遵循专业指南的统一要求,但这并未影响结果的统计学意义,也为这项研究与疾病筛检同时开展提供了可操作性的依据。

本研究运动终止目标为主观力竭,与 Till^[1]的方法一致,这与医学上广泛采用的极量平板运动终止标准:心率达到 220-年龄值不同。究其原因这是这一公式因存在个体差异而饱受争议^[8]。体力耗竭作为终止目标更符合运动实验室所常用的方法,相比心率终止应更为客观。

本研究采取 4 个年龄分组,这是基于不同年龄的受试者在平板运动试验和比赛中表现出不同的运动特征。分析数据发现,所有样本年龄和累计运动当量呈负相关($r = -0.258, P = 0.001$),这说明心脏耐量随年龄增长而降低的趋势。而多因素相关分析显示,全程马拉松组中年龄与完赛时间呈负相关($t = -3.219, P < 0.01$),年长的选手成绩反而相对更好。通过图 1 能直观地展示这一特征:20~29 岁年龄组多散在分布于散点图的上方,相比其他年龄组,试验运动时间有低估完赛时间的趋势;50~59 岁年龄组基本分布于图的下方,试验运动时间较其他年龄组有明显高估完赛时间的趋势;30~49 岁的两个年龄组总体未显示出这些特点。而这种年龄差异仅存在于全程马拉松组中。这可能由于 42.2km 的赛程对体能分配的合理性要求更高。年轻选手虽心肺耐量更高,但多因比赛经验缺乏,未能合理地分配体能导致成绩不理想;年长的选手则更多利用比赛经验、合理的体能分配而非自身的心肺耐量优势来完成比赛,所以比赛表现高于试验的预估。这种组间差异在通过该试验估测较长距离的赛事成绩时需结合考量。

本研究还观测了运动后心率下降状况,探寻其与成绩的相关性。Peinado 等^[9]发现耐力项目运动员在最大运动负荷后恢复前期心率下降幅度大于其他项目运动员。Suzic 等^[10]观察 274 名男性白人运动员最大运动负荷后心率变化,发现恢复期 3min 末心率下降值可作为运动耐力的参考指标。与以上研究均在西方人群中开展不同,本研究对象均为国内人群,从既有的样本结果看,全程马拉松和 10km 马拉松组的恢复期 1min 末心率下降比与完赛时间呈负相关($P < 0.05$),进一步的研究期望通过更大样本量及时间观测点更细的划分得出愈加完善的结果。

综上所述,本研究参考 Till 等^[1]的方法,根据实

际可操作性进行略微调整,选择在赛前 2~4 周对运动员进行试验,考虑这样做法既可较如实反映其近期身体状况,又能保证试验后体力的及时恢复而不影响比赛。本研究采集的女性运动员较少,故未将性别因素列出分析;同时,其他可能影响成绩的因素诸如体重指数、饮食等要素也未涉及;随访的赛事主要集中在国内的华中和华南地区,涵盖性还不够。这些研究局限性在下一步研究中需充分考虑,以期得出更为客观全面的结果。

参考文献

- 1 Till ES, Armstrong SA, Harris G, *et al.* Predicting marathon time using exhaustive graded exercise test in marathon runners [J]. J Strength Cond Res, 2016, 30(2):512-517
- 2 Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, *et al.* ACC/AHA 2002 Guideline update for Exercise Testing: Summary Articles: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines [J]. J Am College Cardiol, 2002, 40(8):1531-1540
- 3 黄宛. 临床心电图学 [M]. 5 版. 北京:人民卫生出版社,1998:92
- 4 Noakes TD, Myburgh C. Peak treadmill running velocity during the VO2 max test predicts running performance [J]. J Sports Sci, 1990, 8:35-45
- 5 Powers SK, Howley ET. Exercise physiology [M]. 4th Ed. New York: McGraw Hill Publishers, 2001:98-110
- 6 Hagen RD. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices [J]. Med Sci Sports Exerc, 1981, 13:185-189
- 7 Tanda G. Prediction of marathon performance time on basis of training indices [J]. J Hum Sport Exerc, 2011, 6:511-520
- 8 Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the "HRmax = 220 - age" equation [J]. Int J Online Engin, 2002, 5(2):1
- 9 Peinado AB, Benito PJ, Barriopedro M. Heart rate recovery in elite Spanish male athletes [J]. J Sports Med Phys Fitness, 2014, 54(3):264-270
- 10 Suzic Lazic J, Dekleva M, Soldatovic I, *et al.* Heart rate recovery in elite athletes: the impact of age and exercise capacity [J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2017, 37(2):117-123

(收稿日期:2017-02-10)

(修回日期:2017-03-22)

(接第 135 页)

- 15 Dalrymple - Alford JC, Livingston L, Macaskill MR, *et al.* Characterizing mild cognitive impairment in Parkinson's disease [J]. Mov Disord, 2011, 26(4):629-636
- 16 Aarsland D, Bronnick K, Larsen JP, *et al.* Cognitive impairment in incident, untreated Parkinson disease: the Norwegian ParkWest study [J]. Neurology, 2009, 72(13):1121-1126
- 17 陈定华, 瞿正万, 江琦, 等. 社区老年人轻度认知功能损害危险因素调查 [J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2013, 22(5):413-416
- 18 李华杰, 吴坚, 朱林凤, 等. 首次确诊帕金森病患者情绪和认知功能障碍的关系 [J]. 神经疾病与精神卫生, 2013, 13(5):496-498

- 19 刘惠苗, 李冬, 仇福成, 等. 情绪对轻中度帕金森病患者认知功能的影响 [J]. 中国现代神经疾病杂志, 2016, 16(2):92-97
- 20 何彦霞. 焦虑症患者认知功能损害的比较研究 [J]. 中国民康医学, 2010, 22(10):1218-1219, 1314, 1274
- 21 米国新, 冯涛, 刘卓. 帕金森病患者日常生活活动能力的调查 [J]. 中国康复理论与实践, 2012, 18(3):265-266
- 22 Quelhas R, Costa M. Anxiety, depression, and quality of life in Parkinson's disease [J]. J Neuropsychiatry Clin Neurosci, 2009, 21(4):413-419

(收稿日期:2016-10-28)

(修回日期:2017-01-03)