

# 人体运动科学

## 经典研究方法的发展与应用

RenTiYunDongKeXue  
JingDianYanJiuFangFa  
DeFaZhanYuYingYong

杨锡让 傅浩坚 主编



2-3

人民体育出版社

# 人体运动科学经典研究方法 的发展与应用

杨锡让 傅浩坚 主编



人民体育出版社

图书在版编目(CIP)数据

人体运动科学经典研究方法的发展与应用/杨锡让,傅浩坚主编.

-北京:人民体育出版社,2007

ISBN 978-7-5009-3293-2

I.人… II.①杨… ②傅… III.人体-运动医学-研究方法

IV.R87-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 155175 号



\*  
人民体育出版社出版发行  
三河兴达印务有限公司印刷  
新华书店经销

\*  
787×1092 16 开本 15 印张 378 千字  
2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷  
印数:1—3,000 册

\*  
ISBN 978-7-5009-3293-2

定价:28.00 元

---

---

社址:北京市崇文区体育馆路 8 号(天坛公园东门)

电话:67151482(发行部)

邮编:100061

传真:67151483

邮购:67143708

(购买本社图书,如遇有缺损页可与发行部联系)

## 作者简介

# 適能學者學會年會 AL CONFERENCE



### 杨锡让 教授

北京体育大学资深教授，博士生导师（2002年退休），现任职中国运动医学学会顾问，《澳门健康》《香港运动医学》等杂志编委，香港体育学院客座教授，香港体适能总会顾问，上海大学、福建师范大学、华南师范大学、苏州大学、山西大学等20所高等院校的客座教授，任华人运动生理与体适能学者学会顾问和中国老教授运动医学委员会副会长。

曾任中华全国体育总会委员，中国体育科学学会理事，中国运动医学专业委员会副主任委员、教研室主任、系主任。北京生理学会理事，中国应用生理学杂志编委以及亚洲运动医学学会科学委员会委员等职。

曾发表文章及论文80多篇；编著《实用运动生理学》等专业书8本；译著3本。1992年获得国务院有特殊贡献科学工作者的津贴，2002年获国际运动医学会有贡献奖和2004年获中国体育科学学会贡献奖。

### 傅浩坚 教授

现任香港浸会大学协理副校长，社会科学学院院长及讲座教授，许士芬体康研究中心主任，华人运动生理与体适能学者学会会长，香港赛马会体艺中学校监，香港体院董事局成员，香港教练培训委员会主席，香港精英体育事务委员会副主席和香港太平绅士。

曾任国际体育协会亚洲区秘书长，春田大学国际活动中心主任，香港大专体育协会董事局及执委会主席，香港世界大学生运动会筹委会主席等职。

发表论文100余篇，著有《实用体育健康医学》《运动健身的科学原理》《中国基督教青年会对中国近代体育的影响》《马约翰与中国近代体育的发展》《二十一世纪运动心理学展望与实践》《中医在现代社会》等10余本著作。曾经在欧洲、美洲、亚洲等10多个国家进行学术报告。

## 前言

众所周知，没有准确的研究方法，很难获得理想的研究结果。因此，作为运动科学研究工作者不仅要掌握当今一些高、新、精、尖的研究方法，还应当对经典的和传统的基本研究方法操作熟练，对其原理和理论背景有熟识的认知，这是运动科学研究者不可缺少的基本功。

本书特色在于，这不是一般的实验方法指导书（这种书已经很多），而是作者们在阅读了大量中外文参考文献的基础上，总结了自己多年应用的经验，对一些在运动科学界常用的经典研究方法，阐明其发展的历史背景，以及该方法从医学等领域嫁接到运动科学实验的过程，还对该方法的应用进行了评价，并留有一定的空间，使阅读者回味。

在加强科学训练方面，为适应 2008 年奥运会在北京的召开，本书可以使科研教练对这些基本指标从理论上有更多的认知，在实践应用时能指导训练。我们相信本书对运动训练的教练员和运动员也会有所帮助。

限于我们的理论和写作水平，在编写过程中可能会有各种错误和不足，恳切希望读者给予批评和指正。

杨锡让 傅浩坚

2007 年 6 月

# 序 一

21世纪被誉为生命科学的世纪，生命科学自上世纪下半叶至今有了迅猛发展。20世纪50年代Watson和Crick提出的DNA双螺旋结构、60年代遗传密码的破译、70年代Cohen和Boyer实现DNA的重组和转化奠定了现代分子生物学的基础、80年代Mullis发明的聚合酶链式反应技术(PCR)标志着生命科学的飞跃性发展，随后各种先进的研究方法和技术手段的创造与应用，大大推动着生命科学研究技术的发展。

运动生理学属于生命科学研究范畴，因此，人体运动科学的研究离不开生命科学的实验方法。在运动生理学研究方法的发展进程中，美国早期哈佛疲劳实验室使用的经典研究方法，有些在运动生理学研究领域仍沿用至今。

随着科学技术的发展，现代运动生理学的实验研究方法从整体、系统、器官水平深入拓展到细胞、亚细胞、分子水平，探讨运动对机体各部分的功能及其内在联系的影响，注重运用整体观点从细胞和分子水平上探讨运动对机体功能活动影响的本质问题，为传统运动生理学继续深入研究赋予新的活力。

当今生命科学发展已进入后基因时代，人体运动科学的研究需要从分子和基因水平深入探讨机制的同时，我们还必须认识从运动实践应用的角度探讨竞技运动和大众健身，为此，运动生理学经典的实验技术方法，仍然具有广阔的研究空间，对人体运动科学的研究仍有重要价值。本书正是要将这些经典的、具有很强实践指导价值的研究方法介绍给读者，这无论对大家的学术研究还是实践指导都有重要意义。

这本书具有以下特点：

1. 理论与实践结合。在每种研究方法的讨论中，都介绍这种方法的研究历史、原理机制、评价讨论以及实际操作。
2. 可操作性强。每种研究方法都有详细的实验操作步骤及具体方法。
3. 应用价值高。在这些经典的实验研究中不仅介绍方法，而且介绍对实验结果的分析评价，方便研究者应用。

本书的主编是著名运动生理学专家北京体育大学杨锡让教授和香港浸会大学傅浩坚教授，其他作者也是对人体运动科学研究有很深学术造诣和实践应用的专家和学者。他们在繁忙的教学及研究工作之余，完成这样一本高质量的著作，我谨向杨锡让教授和傅浩坚教授以及全体作者表示敬意。

邓树勋

2007年夏 于华南师范大学

# 序 五

杨锡让教授和傅浩坚教授是运动科学领域的知名专家，他们长期进行科研合作直至今日，并共同创建了华人运动生理与体适能学者学会，成为联系国内外这一学术领域的重要学术组织。不仅在学术上有很深的造诣，而且他们在学术品德和为人师表方面也堪称年轻学者的楷模。

他们曾先后合作出版了《实用体育健康医学》（1995）、《运动生理学进展——质疑与思考》（1999）和《运动健身的科学原理》（2003）三本专著，基本上是四年一个周期。《人体运动科学经典研究方法的发展与应用》（2007）是他们的第四本合著。

本书的作者出自于一批对人体运动科学有很深学术研究和丰富实践经验的博士。编写者以经典运动生理学实验指导为主线，通过查阅大量中外参考文献，介绍了这些经典实验的历史背景，阐明了这些经典实验的理论基础，重点分析了这些经典实验在指导运动员科学训练中的作用，特别是加入了编写者自身对这些经典实验的客观评价和教授经验，可读性强，适用面宽，实用性特点突出。相信本书的出版将会为普及、推广全民健身运动，提高竞技运动水平提供科技指导和科技支撑。

杨老师是我的博士研究生导师，学生为先生的书写序，令我诚惶诚恐，实有不恭之嫌，推辞再三，只有从命。老师已74岁高龄仍完成这部著作，更令人钦佩。衷心祝福老师身体健康，出更多的好书、新书，为运动生理学学科发展作出更大贡献。

田野

2007年夏

# 编写人员

(按文章顺序)

- |     |   |
|-----|---|
| 聂金雷 | 澳门理工学院运动生理学博士、香港浸会大学许士芬体康研究中心访问学者         |
| 杨锡让 | 北京体育大学教授、香港浸会大学许士芬体康研究中心顾问                |
| 傅浩坚 | 香港浸会大学协理副校长、社会科学学院院长、香港浸会大学许士芬体康研究中心主任    |
| 丁文京 | 美国波士顿大学运动生理学博士                            |
| 张海峰 | 河北师范大学体育学院运动生理学博士、香港浸会大学许士芬体康研究中心访问学者     |
| 赵杰修 | 国家体育总局体育科学研究所运动生理学博士、香港体育学院运动科学室访问学者      |
| 王蕴红 | 首都体育学院运动生理学博士、香港浸会大学许士芬体康研究中心访问学者         |
| 王松涛 | 北京体育大学运动人体科学学院运动医学博士、香港浸会大学许士芬体康研究中心博士后   |
| 林 华 | 辽宁师范大学体育学院运动生理学博士                         |
| 黄传业 | 辽宁师范大学体育学院运动生理学硕士、香港浸会大学许士芬体康研究中心访问学者     |
| 张 纓 | 北京体育大学运动人体科学学院运动生理学博士、香港浸会大学许士芬体康研究中心访问学者 |
| 陆 葵 | 香港浸会大学体育系运动科学博士生、香港浸会大学许士芬体康研究中心执行主任      |
| 雷雄德 | 香港浸会大学体育系博士、香港浸会大学许士芬体康研究中心研究员            |
| 张 禹 | 北京体育大学运动人体科学学院运动心理学博士                     |



# 目 录

第一章 心率研究方法的发展与应用	(1)
第一节 运动心率监测技术的历史发展	(1)
第二节 长跑运动的心率监测	(5)
第三节 自行车运动的心率监测	(10)
第四节 心率监测在运动健身研究中的应用	(16)
第五节 心率拐点的理论与实践的探讨	(20)
第二章 最大摄氧量研究方法的发展与应用	(27)
第一节 最大摄氧量指标的研究历史以及研究进展	(27)
第二节 最大摄氧量指标在运动实践中的应用与评价	(36)
第三章 无氧阈研究方法的发展与应用	(49)
第一节 无氧阈的研究历史和研究进展	(49)
第二节 无氧阈指标在运动实践中的应用与评价	(60)
第四章 血乳酸研究方法的发展与应用	(73)
第一节 血乳酸的研究历史与研究进展	(73)
第二节 血乳酸指标在运动实践中的应用与评价	(81)
第五章 身体成分研究方法的发展与应用	(92)
第一节 身体成分指标的研究历史和研究现状	(92)
第二节 身体成分指标在运动实践中的应用与评价	(102)
第六章 动脉血压研究方法的发展与应用	(120)
第一节 动脉血压的研究方法	(120)
第二节 血压监测常用的方法以及特点	(126)
第七章 肺功能研究方法的发展与应用	(132)
第一节 肺功能检查的历史及最新研究动态	(132)
第二节 肺功能检查在运动实践中的应用	(137)

第八章 尿蛋白等研究方法的发展与应用 .....	(145)
第一节 尿 10 项与运动的研究历史及最新研究进展 .....	(145)
第二节 尿 10 项在运动实践中的应用与评价 .....	(152)
第九章 血色素等研究方法的发展与应用 .....	(161)
第一节 血色素等研究方法的概述、渊源和研究历史 .....	(161)
第二节 运动员血常规的测定 .....	(165)
第三节 运动实践中的应用与评价 .....	(168)
第十章 肌肉力量研究方法的发展与应用 .....	(183)
第一节 肌肉力量的研究历史 .....	(183)
第二节 肌肉力量测量及评估方法 .....	(184)
第三节 肌肉力量训练的原则和方法 .....	(189)
第十一章 RPE 研究方法的发展与应用 .....	(197)
第一节 主观感觉运动负荷的概念与起源 .....	(197)
第二节 主观感觉运动负荷评估表的应用 .....	(202)
第三节 主观感觉运动负荷评估表的评价 .....	(205)
第十二章 反应时研究方法的发展与应用 .....	(208)
第一节 反应时的研究历史及最新研究动态 .....	(208)
第二节 反应时指标在运动实践中的应用与评价 .....	(216)
编后语 .....	(229)

# 第一章 心率研究方法的发展与应用

## 第一节 运动心率监测技术的历史发展

几个世纪以前，医生只能将耳朵放在病人胸前了解心率的变化。二百年前，随着听诊器的发明，使精确地获取心跳变化的信息成为可能，但这仍不能得到心脏的全面信息以及在运动中监测心率的变化。20世纪初期，荷兰生理学家 Willem Einthoven 发明了心电图机，它使心脏的电活动绘制于图上。随后出现了 Holter 监测仪，它是一种便携式的心电图机，可连续记录 24 小时内的电变化。然而，由于相当大的控制箱和无线设备，它并不适合在各种场合下进行运动心率的监控。

1983 年，由芬兰奥卢大学电子系发明的一款无线心率监测仪，即便携式 Polar PE2000 心率监测仪应运而生。它是由一个传感器和一个接收器组成的。传感器可以是固定在被试者胸部的一次性电极片或弹性松紧电极带。接收器是一个戴在手腕上的手表样检测器。起初，这种心率监测仪是为优化教练员和运动员训练质量和效率而发明的。不久，运动科学研究人员就开始将之应用于科学研究工作中。如今，心率监测仪产品已经广泛应用于职业运动训练、大众健身及健康监测等领域中。现在我们就来简单的回顾一下它的发展历程。

早在 1978 年 Polar Electro 就已推出了第一台心率监测仪产品——Tunturi Pulser。它有一个连接电线的胸带，因此使用起来并不方便。5 年后，他们推出了首台使用电子传感带的无线心率监测仪，即 Sport Tester PE2000 (图 1-1)。



图 1-1 Sport Tester PE2000

卡沃南 (Karvonen) 等人 (1984) 比较了 Holter 装置和 PE2000 测量心率的结果, 发现安静状态下 ECG 和 PE2000 测得的平均心率每分钟最多相差 5 次, 而在每种运动负荷下, 每分钟相差 0~10 次。这一差别主要是由于使用的 ECG 刻度尺或微型电子计算器读数的计数方法不同造成的。因此, 对于测量运动过程中的心率而言, Sport Tester PE2000 的测定精度是与 ECG 相当的。

1984 年, Polar Electro Oy 推出了世界上首台装配了计算机界面和通过磁场来传送信息的心率监测仪——Sport Tester PE3000 (图 1-2)。对 20 名受试者运动过程中 PE3000 的结果和 Holter ECG 测量的心率数据比较表明, 与笨重、易损坏的 Holter 心率监测仪比较而言, PE3000 可以作为一种有价值的替代方法, 用来在运动场测量心率和实验室研究中使用。



图 1-2 Sport Tester PE3000

Seaward 等人 (1990) 的研究中发现, Polar PE3000 的精确度和准确性均和 ECG 相当。在静止状态和不同运动强度下每分钟心率变化范围在 55~177 次, 测得的 250 份数据资料显示, 它们之间的相关系数是 0.9979。而另一项研究显示, 利用耳垂光电极测定的心率监测的效度较低。另外, Treiber 等人 (1989) 在实验室和运动场研究了儿童在 6 种不同运动过程中及恢复期的心率。他们报告 polar PE3000 和 ECG 测量得出数据间相关系数至少在 0.93 ( $S_x=1.1\sim 4.3$  次/分)。此时, 第一个心率分析的计算机软件系统, 即命名为 Sport Tester Training system 软件包已经出现, 其可用于管理心率数据的测量、分析、存储及打印。此后, 计算机软件包及其心率监测仪中的操作界面系统不断改进与完善, 使它们成为心率监测与分析中不可缺少的重要工具。

Polar Vantage XL (图 1-3) 于 1989 年推出。这个手表样的防水心率监测仪具有遥控的 (磁场感应) 计算机界面和更大的存储空间。Godsen 等人 (1991) 研究了 this 仪器的精确性。他们比较跑台运动、划船、上肢及下肢循环测力计和举重运动过程中的 2633 个心率读数, 结果发现, 在大约 95% 的时间里运动测试仪的数据和 ECG 数据相差范围在  $\pm 6$  次/分之内。他们认为心律不齐、运动中预期的心率升高或恢复过程中快速的适应性变化是导致这些误差的主要原因。



图 1-3 Polar Vantage XL

Wajciechowski 等人 (1991) 也比较了女性在快走、慢跑和有氧舞蹈运动过程中两种 Polar 心率监测仪 (大多数是 Polar Vantage XL) 和 ECG 的读数。每 10 秒记录一个数据时 (400 个样本), 心率测试仪和 ECG 之间的数据相关系数是 0.99, 90% 的数据误差在  $\pm 8$  次 / 分之内。

在 1990 至 1993 年间, Polar Electro 推出了许多新的创新产品。Polar CycloVantage 是世界上首台针对自行车运动的具有计算机界面和可以测量速度、时间、距离和踏车速度的电脑。Polar Accurex II™ 心率监测仪具有运动手表功能, 能测量平均心率, 且具有基于 Windows 视窗的分析软件和一个整合在一起的轻便、防水传输带 (图 1-4)。

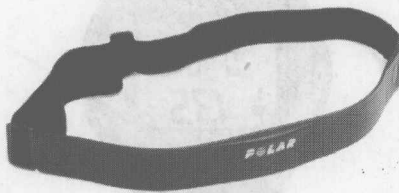


图 1-4 防水的心率数据传输带

1995 年, Polar 推出了 Vantage NVTM 心率监测仪 (图 1-5)。这是首个具有编码功能的传输设备 (每个传输带发出的信号只对应单独一个接收器) 和每搏心率的连续测量 (R-R recording), 并配备了电脑分析系统 (Polar Advantage Interface System™ 和 Precision Performance Software for Windows)。编码功能的出现, 使胸带与接收器的信号传输得以加密, 有效地避免监测仪之间的干扰。利用此监测仪来研究男性定向赛跑中过度训练和恢复的情况显示, 使用 Vantage NVTM 和 Precision Performance Software, 可以让运动员在家里和训练营地很方便地操作且易于分析。另外的研究也分析评价了 Polar Vantage NV 心率监测仪

在测量每搏心率间隔的计时精确性。结果表明，Polar Vantage NV 和 Polar R-R Recorder TM 测量的 99.9% 每搏心率间隔的差别在  $\pm 5$  毫秒之内。



图 1-5 Polar Vantage NVTM

1997 年，Polar Smart Edge™ 问世 (图 1-6)。它增加的功能可以在锻炼中自动的指导适宜的运动强度 (OwnZone) 以及评估运动过程中的能量消耗 (OwnCal)。这两项功能都是通过每搏心率的连续测定获得原始数据，然后经过回归方程式计算而得，而此公式是通过大量生理学研究得到的。有学者研究了 Polar Smart Edge™ “OwnZone” 和 “OwnCal” 的特点。



图 1-6 Polar Smart Edge™

近 10 年来，Polar 心率监测仪 (心率表) 进一步得到改进和完善，现已发展成为一个系列的产品群，例如，Polar 的产品系列分为健身心率表、跑步电脑、自行车电脑、户外运动电脑，以及体重控制和团队训练等系列。

在 Polar 团队训练系统套装产品中，包括 10 条团队心率传输带、1 个介面部件，可供 10 名运动员同时使用。其突出的特点是将发射装置、接收器及存储器融合于一条传输带中，运动结束后，只要将传输带插入介面部件槽中，连接电脑，即可分析每名运动员心率数据。

Polar RS800 跑步心率表, 是 2007 年推出的具有完整的训练计划、监测及分析系统的仪器。其采用柔软舒适的 Polar WearLink 心率传输带, 以 2.4GHz 电波传送数据至手表, 由于免受其他电子仪器干扰, 所以所得数据更精准。此外, 心率传输带可直接扣于运动衫上 (adidas adiStar Fusion)。随 RS800sd 配备 Polars3 步速传感器采用最新的纳米技术, 使速度及距离测量更精准。Polars3 步速传感器 W.I.N.D 具有极佳的防水效能, 其特别之处是可配合 adidas adiStart Fusion 运动鞋使用。另外, 软件系统设计了直接分析心率变异的功能, 从而反映心跳规律中的自主神经系统活动情况。(图 1-7)

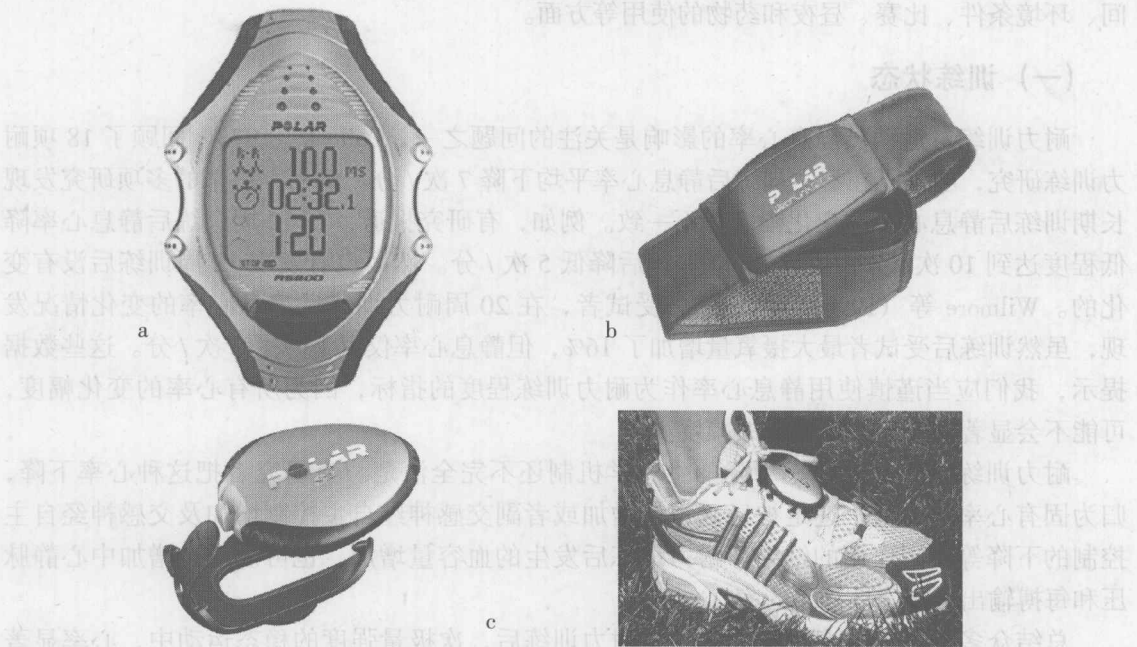


图 1-7 a. Polar RS800sd b. Polar WearLink 心率传输带 c. Polars3 步速传感器

## 第二节 长跑运动的心率监测

### 一、引言

1982 年, 便携式无线心率监测表问世后, 许多实验发现, 使用 ECG 监测的心率和心率表测得的心率数据具有很好的相关性。因此, 心率表应用于各种运动参与者的研究中, 包括滑雪、定向越野、自行车、乒乓球、足球和长跑。在这些运动中, 心率表用来监测作为运动强度指标的心率。

尽管心率监测仪可以准确地监测运动中的心率, 然而一些科学家们却质疑心率监测的使用是否有助于提高运动成绩。他们认为由于在不同运动中, 心率和摄氧量之间的关系有所差异, 而且有些因素也可能会影响心率和工作负荷之间的关系。因此, 心率监测是否正

确的使用会直接影响心率数据分析的可靠性,从而影响运动员训练的效果。

本节主要介绍一些已知与长距离跑相关的影响心率的因素,并探讨如何监测心率使得长跑训练最优化,从而最大限度地提高比赛成绩。

## 二、影响心率—跑速关系的因素

多种因素可以影响心率—跑速关系。运动员心率本身存在内在固有的变化,在同一条件下,大约变化 1~6 次/分。此外,其他的影响因素包括运动员的训练状态、运动持续时间、环境条件、比赛、昼夜和药物的使用等方面。

### (一) 训练状态

耐力训练对运动员静息心率的影响是关注的问题之一。Pollock (1973) 回顾了 18 项耐力训练研究,明确了在耐力训练后静息心率平均下降 7 次/分。然而,后来的多项研究发现长期训练后静息心率的变化幅度并不一致。例如,有研究报道,在 12 周训练后静息心率降低程度达到 10 次/分,或者 30 周训练后降低 5 次/分。然而也有发现 12 周训练后没有变化的。Wilmore 等 (1996) 观察 47 名受试者,在 20 周耐力训练后静息心率的变化情况发现,虽然训练后受试者最大摄氧量增加了 16%,但静息心率仅仅下降了 3 次/分。这些数据提示,我们应当谨慎使用静息心率作为耐力训练程度的指标,因为所有心率的变化幅度,可能不会显著大于一天变异的幅度。

耐力训练导致静息心率下降的生理学机制还不完全清楚。有研究者把这种心率下降,归为固有心率的降低、迷走神经兴奋性增加或者副交感神经自主控制增加及交感神经自主控制的下降等共同作用的结果。耐力训练后发生的血容量增加,也可以通过增加中心静脉压和每搏输出量而降低静息心率。

总结众多研究,普遍接受的观点是耐力训练后,次极量强度的稳态运动中,心率显著低于训练前或没有训练的状态,这与长期耐力训练后程度较小的静息心率减少形成对比。例如,在 Wilmore 等 (1996) 的研究中,受试者静息心率降低很小(约 3 次/分),而在标准次极量强度运动过程中的心率降低幅度较大(16 次/分)。这种运动时的心率的降低,可能是由于每搏输出量的增加、固有心率降低、交感神经兴奋性降低或循环血液中儿茶酚胺的减少。

耐力训练后,次极量强度下每搏输出量的增加是心脏前负荷增加的结果,可能源于训练过程中出现的血容量的增加。心输出量是每搏输出量和心率的乘积,而耐力训练后在恒定的次极量强度运动负荷下,心输出量并没有变化,这是每搏输出量增加和心率减少共同作用的结果。

### (二) 心率漂移

在恒定次极量强度负荷下运动过长时间心率会增加。随着跑步运动时间的持续,心率逐渐增加,这就是所谓的“心率漂移”(Cardiac drift)。它和运动员脱水的程度成比例。Montain 等的研究表明,由于脱水导致体重每降低 1%,心率会增加 7 次/分。心率漂移的机理还不是非常清楚,可能是由于血容量降低、心肌收缩力下降以及目前还不能完全理解的其他一些因素有关。



当心率漂移的幅度较大时,可以显著影响心率—跑速关系。例如, Schabort 等发现, 8 名受试者在实验室中 (20°C 和 5% 相对湿度) 进行 60 分钟测试跑过程中, 其平均心率从运动开始后的前 5 分钟的 158 次 / 分增加到运动结束时的 177 次 / 分。虽然这个研究是在 60 分钟跑结束时, 受试者增加了跑速, 但是这一跑速的变化并不能完全解释心率的增加。周围环境温度和湿度的增加也能加剧心率漂移的幅度。例如, 在一个 14.5km / h 跑速恒定的 30 分钟跑测试研究中, 心率从 168 次 / 分增加至 188 次 / 分 (32°C 和 60% 相对湿度)。

总之, 在耐力训练后控制条件下恒定工作负荷运动中测得的心率会下降, 并且可能被用来作为耐力训练的指标。随运动持续时间的增加, 发生心率漂移。可以推测, 在耐力运动后心率漂移的幅度可以减小, 但是还没有明确的资料和数据支持这一个推测。另一点需要考虑的一个事实是, 耐力训练后跑步成绩的提高幅度大大超过了相关心血管系统变化幅度, 包括摄氧量、每搏输出量和心率。因此, 相对于心血管系统的变化指征而言, 运动成绩可能是耐力运动训练状态的更准确的一个指标。

### (三) 比 赛

Selley 等发现, 在 10km 和 21km 比赛中运动员的心率高于同样速度非比赛的训练中心率。这个结果对于在比赛中使用心率作为他们跑速衡量工具的运动员来说, 具有重要的意义。因为使用训练中心率计算得到比赛中的目标心率, 所以在比赛中的速度会比他们期望的更慢。

尽管同样的跑速, 心率却不同, 这种比赛和训练中心率的差异, 后来又进一步得到研究。对一个优秀长跑运动员进行了 5 个月心率监测, 期间他参加了 9 个不同距离的比赛 (5~28km), 既有在田径场跑道上的, 也有在公路上的。这个研究的目的是在比赛条件下明确心率—跑速关系受影响的程度。田径场上非比赛的训练状态下受试者心率—跑速关系的相关系数  $r=0.99$  ( $P<0.001$ ), 然而, 在比赛的时候心率和跑速之间却没有显著的关系 ( $r = 0.02$ )。例如, 当受试者以 338 米 / 分钟 (或每公里 2 分 57 秒) 的跑速比赛时, 他的心率变化范围是 148~193 次 / 分。受试者心率为 162 次 / 分时, 其跑速相差最大 (4.63~6.72 米 / 秒或 278~403 米 / 分钟, 或者每公里相差 67 秒)。这些数据表明, 和非比赛的训练相比, 比赛导致运动员心率因增加运动强度出现不同的反应。因此, 在实验室的运动测试得到的数据并不能直接用于比赛场合下。

另一研究同样观察到比赛中心率增高的现象。招募每周至少参加 60km 训练的 8 名长跑运动员参加 3 个比赛 (10km、21km 和 42km)。他们在 10km、21km 和 42km 比赛中的平均时间分别是  $43:25 \pm 5:15$ ,  $92:48 \pm 7:51$  和  $212:03 \pm 24:55$  (min:s)。比赛中测得心率高于同等速度训练中心率 ( $P < 0.03$ , 表 1-1)。这再次表明, 比赛情况下的心率和跑速之间没有显著相关关系, 发生心率差异的原因也许不能通过跑步的地形或额外的生理应激等来解释。这些结果提示, 比赛中应当小心谨慎地使用心率监测作为一个衡量尺度。

表 1-1 不同距离跑比赛心率和相同速度下训练心率比较

	10km	21km	42km
比赛心率	163±13	166±10	156±6
训练心率	143±22*	151±13*	137±17*
心率差异	20±7	15±7	19±13

\* 与比赛心率相比有显著差异,  $P<0.03$

(引自: Lambert, 1998)