

心血管 运动生理与 运动处方

任建生 著

北京体育大学出版社

心血管运动生理与运动处方

任建生 著

北京体育大学出版社

责任编辑:张恩祥

审稿编辑:鲁 牧

责任校对:鲁 生

责任印制:长 立

张玉萍

图书在版编目(CIP)数据

心血管运动生理与运动处方/任建生著.-北京:北京
体育大学出版社,1996

ISBN 7-81051-163-7

I.心… II.任… III.①心血管系统-运动生理-研究②
心血管系统-体育保健学 IV.G804.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 24355 号

心血管运动生理与运动处方

任建生著

北京体育大学出版社出版发行

新华书店总店北京发行所经销

(北京西郊圆明园东路 邮编:100084)

星月印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/32

印张:12.375

定价:16.80 元

1996 年 8 月第 1 版

1996 年 8 月第 1 次印刷

印数:1100

ISBN7-81051-163-7/G·147

序

本书的出版,适逢举国上下都在为有健康的体魄,积极热情贯彻执行“全民健身”计划之际。也正值运动员、教练员和体育研究人员吮吮着现代科技的乳汁,参与为“奥运争光”宏伟目标作贡献之时。作为运动生理学工作者的任建生副教授,经过十多年的努力奋斗,深入研究,广泛收集了国内外有关心血管运动生理学方面的资料,写出了《心血管运动生理与运动处方》的专著。

本人拜读之后,认为该书资料翔实,内容丰富,较系统地、全面地论述了心血管运动生理学所涉及领域的理论与实践问题。是一本在观点上、研究成果等方面具有新颖性、科学性、实用性的学术著作。有些内容反映了近些年在世界范围内,心血管运动生理学方面的新进展,也填补了过去运动生理学的一些空白,从原理和指导实践两个方面,发挥了应有的作用,体现出较高的学术价值。本书可作为体育院校运动生理、运动医学、运动保健康复专业的大学本科生、研究生的辅助书籍,也可作为防治心血管疾病的参考读物。

该书是任建生副教授的心血之作,本人对作者为体育学术事业的发展默默耕耘,不懈努力的奉献精神,深为钦佩。在本书出版之时,乐为此序。

中国运动医学会副主任委员
北京体育大学运动生理学教授 杨锡让
博士生导师

1996.8·北京

目 录

上篇 心血管运动生理学

第一章 运动与心率 (1)

- 第一节 心率的产生与控制
- 第二节 运动与窦性心搏徐缓
- 第三节 运动与最大心率
- 第四节 年龄与心率
- 第五节 运动时的心率变化规律及机制
- 第六节 无氧阈与心率
- 第七节 最大吸氧量($\text{VO}_{2\text{max}}$)与心率
- 第八节 有氧训练强度与心率
- 第九节 间歇训练与心率
- 第十节 环境及其它因素对心率的影响

第二章 运动与心输出量 (32)

- 第一节 心输出量的测定
- 第二节 心输出量的调节
- 第三节 不同姿势运动时心输出量的变化
- 第四节 环境与心输出量
- 第五节 不同性别不同年龄的心输出量
- 第六节 训练与极限下的心输出量
- 第七节 心输出量与摄氧量

第三章 运动与心脏 (61)

- 第一节 心脏的大体结构与机能
- 第二节 运动与心肌的能量代谢
- 第三节 运动员心脏
- 第四节 运动与心脏超微结构变化
- 第五节 运动与心脏的血管
- 第六节 运动员心脏的年龄特征
- 第七节 运动与心脏功能

第四章 运动与血压 (120)

- 第一节 血管结构与机能特点
- 第二节 血压的形成与影响因素
- 第三节 运动对血压的影响
- 第四节 运动时血压的变化
- 第五节 运动与“青年型”高血压症
- 第六节 不同强度运动对中、老年血压的影响

第五章 运动与血液 (152)

- 第一节 运动时血量和血流的重新分配
- 第二节 运动对血液有形成分的影响
- 第三节 运动引起血液凝固能力和纤溶能力的变化
- 第四节 运动对血浆化学成分的影响
- 第五节 运动员血液
- 第六节 运动性贫血
- 第七节 运动与血清铁
- 第八节 运动与血红蛋白

下篇 心血管机能评定与运动处方

第一章 心血管机能检查与评定 (215)

- 第一节 心血管系统常规检查
- 第二节 心脏血管的 X 线检查与评定
- 第三节 心电图检查与评定
- 第四节 心音图检查与评定
- 第五节 超声心动图检查与评定

第二章 心血管运动试验 (264)

- 第一节 简易功能试验
- 第二节 实验室检查
- 第三节 体力测定与评价
- 第四节 运动试验的注意事项及禁忌症

第三章 心血管运动处方 (286)

- 第一节 运动处方的基本内容
- 第二节 运动处方的制定
- 第三节 运动处方的实施
- 第四节 常用体育锻炼方法的生理学分析
- 第五节 心血管运动处方的应用举例

第四章 心血管疾病的康复体育与运动处方 (324)

- 第一节 高血压病的康复体育与运动处方
- 第二节 冠心病的康复体育与运动处方
- 第三节 慢性心功能不全的康复体育与运动处方
- 第四节 血栓闭塞性脉管炎的康复体育与运动处方
- 第五节 高脂血症的康复体育与运动处方

第一章 运动与心率

心率(HR)是每分钟心脏搏动的次数。

心率作为血液循环机能的重要生理指标而在运动中被广泛地应用。运动中,心率随机体代谢需要而增加,在一定范围内可反映运动强度、机体的代谢水平,在有氧运动中常用心率作为控制运动强度的指标。运动后,心率的恢复又可作为评定运动负荷适宜与否以及心脏机能状态的指标和依据。安静状态时基础心率的测定,在医务监督中则可作为判断某一阶段机体是否有过度疲劳和评定运动员训练程度的指标。

心率对体内外环境非常敏感,情绪、心理等因素可以影响它,性别、年龄、气候、地理位置等因素也可以影响它。但心率的变化又具有相对的稳定性和规律性,并非不可捉摸。多年来许多学者对它的变化特点和规律进行了大量的研究和探讨,为心率在运动实践中的应用和临床上的研究积累了丰富的资料。由于心率变化的敏感性和易于监测,在运动生理的分析和运动训练的应用中,普遍采用测定心率控制运动员有氧训练的强度、控制间歇训练的间歇时间,评定学生体育课的生理负荷量、评定运动训练程度和机能状态及心贮备功能等,根据心率与最大吸氧量($\dot{V}O_2\max$)的关系和心率与无氧阈(AT)的关系,用心率预测 $\dot{V}O_2\max$ 和 AT,用 AT 相对应的心率控制 AT 强度训练等等。

第一节 心率的产生与控制

心脏中存在的一些特殊分化了的心肌细胞组成了心脏特殊的传导系统,具有自动地节律地产生兴奋、传导冲动的能力,所以称自律系统。这一特殊传导系统象密密麻麻的电话线遍及心脏各部,将兴奋冲动在整个心脏有节律、有顺序地产生收缩和舒张。

一、心脏的起搏

自律传导系统包括窦房结、心房传导组织(结间束和房间束)、房室瓣膜内的心肌纤维、房室交界以及心室传导组织(房室束及浦肯野氏纤维)。正常情况下窦房结的自律性最高,可以每分钟100次左右的节律发出冲动。房室结纤维自律性较低,以每分钟40~60次的速率发出冲动。

窦房结发放的冲动(心传导系传导)是电脉冲式的冲动。由于窦房结的节律性速率比房室结和浦肯野氏纤维大得多,在每一次窦房结发放冲动时,其冲动都传导到房室结和浦肯野氏纤维,使其可兴奋的细胞膜发放冲动。当这些组织兴奋后,开始由动作电位中复原时,窦房结却又比这些组织的任何一个恢复都要快,故能在它们的任何一个达到自动节律兴奋的阈值之前,窦房结就可以发出一个新的节律冲动。新的冲动再次传导到房室结和浦肯野氏纤维,使其可兴奋的细胞膜发放冲动。这个过程不断循环进行,窦房结则总是在那些具有自动节律兴奋的组织发生自律兴奋之前就刺激它们,使这些组织本身的自律性常处在窦房结传出兴奋(冲动)的控制之下,不能表现出来(称潜在起搏点)。所以窦房结控制着心脏的搏动。因为其节律发放速率比心脏任何部分都快,所以窦房结被称为心脏的正常起搏点(Pacemaker)。

二、心率的控制

心率的控制是一个较为复杂的过程。

窦房结自动有节律的发放冲动,使心脏每分钟搏动速率可达100次左右,但安静时正常人心脏每分搏动约只70次左右。这是由于窦房结自律性经常处于迷走神经的控制作用下。通常将神经和其它方面对心率的控制称为外在心率。心脏受交感神经和副交感迷走神经的双重支配。前者对心脏有兴奋作用,后者对心脏有抑制作用。心交感神经和副交感迷走神经发出的纤维都可支配窦房结、房室交界、房室束、心房肌和心室肌(但迷走神经很少支配心室肌)。当支配心脏的迷走神经紧张性增高,神经纤维末梢释放乙酰胆碱,可降低窦房结的节律性,降低心房肌和房室交界纤维的兴奋性,因而减慢心肌冲动向心室的传递,使心率减慢。当心交感神经兴奋性增高,神经纤维末梢释放去甲肾上腺素,对心脏引起的作用与迷走神经完全相反,增加窦房结发放冲动的速率,提高整个心脏的兴奋性,还可明显增强整个心肌的收缩力量。在一般情况下,两种神经都经常有传入冲动不断作用于心脏,控制心脏的搏动频率和收缩力。静息状态下,心迷走神经的作用处于主导地位。在肌肉运动、情绪激动等情况下,心交感神经的作用处于主导地位。此外还有体液的调节作用,血液和组织液中含有的一些化学物质的变化,对心率也有影响。这些化学物质包括由体内一些特殊组织细胞所产生的激素或血管活性物质。人体运动时这些物质产生增多,可随血液通过循环运输,当流经颈动脉体、主动脉体时可刺激颈动脉体、主动脉体化学感受器,反射性地引起呼吸加深,并通过牵张反射可继发性地使心率加快。此外心肌本身对化学变化的反应也引起心率变化。

外周神经的向心冲动对心率的影响,由各种感受器传入心血管中枢的神经冲动频率也随时影响着心率。如运动时肌肉关节等

处本体感受器产生的传入冲动,可反射性引起心率增快,为机械感受性反射。当心脏回心血量增多,使右心房扩张,超过一定限度,通过迷走神经可反射性地引起心房收缩加强,心率增加,亦称朋氏反射。牵张窦房结也同样引起心率增快。触压颈动脉,心率可明显减慢,并且心电图也出现异常(表 1—1)。这可能是刺激了颈动脉窦压力感受器而反射性引起的。

表 1—1 运动前后触压颈动脉窦时心率变化

	心率(次/分)		差值
	触压前	触压后	
运动前	79.1	68.0	-11.0
运动时	155.2	152.9	-2.3
运动后	153.7	138.1	-15.6

依 White,J. R. (1977)

除以上诸因素外,皮层的高级神经活动也影响心率。各种情绪状态显著地影响心率变化,使得有时很难获得真正的安静时心率值。大脑皮层发放冲动也引起心率在运动开始前很快地增加,这种心率的预先增加可能是皮层对交感神经放电增多,并抑制迷走神经紧张性这两种作用的结果。

综上所述,心脏的神经和体液调节因素的作用可使固有的心率在一个很大的范围内变动。对于有训练的运动员,安静时心迷走神经的紧张性作用可使心率减慢至 50 次/分左右,甚至高水平的耐力项目运动员心率可减慢至 28~30 次/分。而在最大负荷运动时,交感神经的兴奋和体液作用又可使运动员心率增快至 190~220 次/分以上,相当于安静时的 5~7 倍。

第二节 运动与窦性心搏徐缓

安静时心率随年龄增长而逐渐减慢。在同年龄者中,女性比男

性略快;在同年龄同性别者中,体胖者比体瘦者心率略快;对于同一个体来说,安静状态坐姿比卧姿心率略快,站姿又比坐姿略快。

安静时一般成人心率约 60~80 次/分之间,临床上安静时心率超过 90 次/分称心动过速,60 次/分以下称心动过缓。经过较系统的体育锻炼或劳动锻炼的人,安静时心率明显减慢,约 60 次/分以下,有训练的运动员约为 50 次/分。

应指出,项目不同,区别也较大。主要是因为不同项目对心血管影响不同。长时间从事耐力性项目的运动员,如马拉松、长距离滑雪、公路自行车、游泳、竞走等项目运动员,安静时心率减慢尤为显著。Hogerwerf 等对参加阿姆斯特丹奥运会的 260 名运动员心率的测定报告:平均 HR 为 50 次/分,最低 HR 为 30 次/分,一名速度滑雪运动员安静时 HR 经多次检查仅 28 次/分。这种由于运动或劳动锻炼引起的心率减慢,称运动性心搏徐缓。与临床上的心动过缓是有区别的。虽然安静时心率较低可能是由遗传因素决定的,但是对人体和动物所进行的大量研究表明,窦性心搏徐缓是由于长期运动所引起的一种生物学适应。

对大白鼠所进行的动物实验中,分别经单侧迷走神经切除术、甲状腺切除术、垂体切除术和免疫性交感神经切除术后,测定受运动训练的鼠安静时心率也都比无训练鼠明显降低,说明长期的运动通常能使鼠产生安静时心搏徐缓的变化。当给予狗和鼠一次最大剂量的阿托品时(阻断乙酰胆碱作用),无训练和有训练动物的安静时心率之间差异则消失。这就提示:训练或增加了心脏中乙酰胆碱的含量,或降低了心脏对阿托品的敏感性。

注射胆碱酯酶抑制剂后,有训练鼠的安静心率显著地低于无训练鼠。由于心肌的胆碱酯酶水平不受训练的影响,因此这一发现支持了这一观点,即:训练引起副交感神经活动增强。还有研究资料报道:有训练鼠每克心肌组织的 Ach 显著地高于无训练的对照

组。长期运动可使心脏的胆碱乙酰转移酶活性增高。

为了便于研究运动训练对内在心率的影响,用药物同时阻断了交感神经和副交感神经,发现有训练鼠的心率比无训练鼠增加得少。运动员平均内在心率比非运动员低。对受试者进行纵向研究表明,有氧能力提高最大者,其内在心率降低也最多。但是研究有训练和无训练鼠的离体心脏的自发心率时,未获得一致结果。所以运动训练是否促使安静时内在心率减慢的问题还没有解决。

Tibbits 等人研究证明:经训练的鼠位于肌膜上钙结合点的亲和性明显地低于无训练组,这种适应性变化有助于提供较多的细胞内钙以延长动作电位平台期的持续时间。近些年来对心肌组织 β 肾上腺素能受体的研究表明,耐力训练后动物心肌组织的 β 肾上腺素能受体的数量和密度有所下降。这提示我们,心率减慢可能是由于心脏 β 肾上腺素能受体作用下降引起。而 β 受体减少可能是由于机体运动时,去甲肾上腺素分泌增加,对交感神经的突触后膜负反馈抑制长期持续的结果。

总的来说,运动员窦性心搏徐缓是由于经过一定时间系统的运动训练,中枢神经系统整合能力的变化,使心脏的调节机能产生了适应性改变,安静时明显增加了心迷走中枢的紧张性,同时降低了心交感中枢的紧张性的结果。当心迷走中枢紧张性增加,神经末梢释放递质乙酰胆碱增多(Ach受体为M型受体),与心肌细胞膜上M-受体结合,在cGMP作用下使心肌细胞膜蛋白的通道对钾离子通透性显著增加,钾离子外流增多,细胞膜负电荷增加,使心肌细胞膜舒张电位形成超极化状态(舒张电位更远离阈电位),导致窦房结自动去极化速度减慢,出现心搏徐缓。

安静时控制心脏活动的心迷走神经中枢紧张性增高对心脏的营养性作用将增强,使心肌耗氧减少。心率减慢在整个心动周期的变化中,主要表现为心舒张期延长。这一方面有利于心室充盈,同

时由于心室充盈压明显升高,心室壁张力也随之增加,结果使心肌收缩力增强(称 Frank—Starling 效应),心脏收缩射血增多,即每搏量增加。另一方面,心舒张期延长使心肌可在收缩后的舒张期得到充分的宽息,有利于心肌钙离子的回摄(因为钠和钙互相竞争一带负电荷的受体,故在细胞外何种阳离子多,就可使该离子转入细胞内。因此细胞外钙增多(回摄),转入细胞内也会增多,而钙内流增多会加强心肌收缩力,使心肌兴奋—收缩耦联加强,心肌收缩力增强。

关于心肌收缩—耦联过程,在此作一简介,这对理解后面将要述及的问题会有所帮助。

心肌收缩起始于心肌细胞膜兴奋时膜外钙内流,促使肌浆网释放钙,肌浆内钙浓度上升到一定高度($10 \sim 5M$),钙即与肌钙蛋白结合,从而改变了肌钙蛋白(Tn)与原肌球蛋白(Tm)的构型,使肌动蛋白的作用点暴露,以利肌球蛋白头部与肌动蛋白结合。同时使肌球蛋白 ATP 酶活化,使 ATP 水解释放能量,供应横桥运动,肌动蛋白向肌节中央滑行,肌肉收缩。随着细胞膜复极化,膜钠—钾泵的启动以及肌浆网钙泵的启动,使肌浆内钙浓度降低(回摄)。Tn—C 与结合的 Ca^{++} 脱离,Tn—I 和 Tm 回复到原位置,使肌动蛋白的作用点遮蔽,肌球蛋白与肌动蛋白分开,心肌松弛。这就是兴奋与收缩耦联过程,整个过程完成了一个心动周期。由此可见,与实现这一过程有关的因素有:①肌浆网释放 Ca^{++} 的浓度和转运;②ATP 的供应;③肌球蛋白 ATP 酶活性三方面。

从上所述,已能看出心率在反映心功能中的作用。为了详细说明,我们对心率与心脏功能指标进行过相关检验和聚类分析(可详见心功能指标聚类分析)。结果表明:心率与左室舒张末内径、左室舒张末容积、每搏输出量、安静时心输出量等反映心脏功能的指标呈高度负相关,与心肌耗氧指数呈正相关。这表明正常人安静时心

率越慢,心脏其它功能指标数值则越大,反映心功能越好。在对 30 多个心功能指标进行聚类分析中,心率指标单独成为一类,由于它与其它心脏功能指标呈非常显著的负相关,这客观地表明心率作为反映心脏收缩频率的指标,是其它任何心脏功能指标都无法代替的,这也进一步证明心率在反映心脏功能中的重要地位和作用。

第三节 运动与最大心率

前面已谈到,运动,尤其是剧烈运动,可使心率明显增快。实际上在安静时,每个人心率也随时间稍有变化。为了研究运动与最大心率之间的关系,有必要先了解基础心的概念及基础心率的测定。

一、基础心率的测定

基础心率为晨起前的脉搏频率。应在起床前测定。可作为检查前一天运动负荷是否适宜或某一阶段训练效果的生理检查指标,对于运动员和从事健身运动的青少年、中老年以及进行医疗体育锻炼的人都很适用。测定应连续数日。对于初参加体育锻炼者或体弱者,运动初期或刚刚加大负荷时,由于不适应,基础心率会有增多,对运动量适应后,心率便会逐渐减少。这是机能状态良好的标志。如果基础心率连续数日增加数超过 5 次/分以上,可能与运动负荷量过大或机体其它机能、疾病有关。应调整减少运动量。如果连续数日基础心率增加数超过 12 次/分以上,即为过度疲劳的预兆。应停止训练或进行其它方面检查。但测定应尽量保持在每天同一时间。环境气温升高超过 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 或 $15\sim 20\%$ (相对温度),可引起心率增加 10 次/分左右,所以测定时应排除环境因素的影响。

二、运动与最大心率的关系

每个人心率增加都有一个限度,即达到一极限值为最大心率。有人认为剧烈运动所达到的最大心率在有训练者和无训练者之间没有明显差别,然而更多的研究表明,不管运动方式如何,通过训练最大心率也可能降低。

最大心率与年龄、性别、遗传等因素有关,年龄越小,最大心率值越高。随年龄增加最大心率也下降,但存在个体差异。多年来各国学者对不同年龄、性别、不同职业的人最大心率进行了调查,在所报道的资料中,心率与年龄的变化趋势具有一致性。

对成年人最大心率的调查结果显示,25岁者平均约195次/分;35岁者平均约185次/分;45岁者平均约175次/分;55岁者平均约170次/分。20岁以前最大心率还可达更高值。儿童少年最大心率范围在195~215次/分之间,只是在性成熟期后才开始随年龄增加逐渐减少。这种减少与身体机能状态、性别、地理位置、气候以及其它环境条件影响都有关。最大心率随年龄增长而逐渐减少的平均速率,相当于每年减少0.7~0.8次/分,不过长期追踪研究表明,最大心率随年龄增长而逐渐减少的个体差异是很大的。

应当注意,运动时最大心率的平均值标准差是 ± 10 次/分,因此如果25岁的男子或女子,除95%最大心率的均值在195次/分外,还有5%的人最大心率在175次/分以下或215次/分以上也属正常。

了解个体的最大心率,对于用心率控制运动强度是很有意义的。特别对于教练员和教师,要分别对不同个体施加有效的运动负荷量,就应因人而异,按每个人的生理负荷量为标准制定训练计划。例如对几个最大心率不同者要求按80%最大心率的强度完成某一练习,即练习后即刻10秒测心率数 $\times 6$,要达到本人最大心率80%的次数虽然各个人运动负荷不尽一致,但对于每一个体而言

其生理负荷量基本是一致的。在间歇训练中利用心率恢复到最大心率的百分比次数,再进行下一组练习也同样能有效地控制运动的负荷和生理负荷强度。在有氧训练的强度范围内,心率与运动强度呈正比。用最大心率的百分比强度预计最大吸氧量,用无氧阈对应的最大心率百分比控制训练,都与最大心率有关。由于心率的测定简便迅速,所以可以在运动中广泛的应用。

有人根据最大心率与年龄间的变化关系提出了用年龄推算最大心率的公式。对于中老年、儿童或体弱者,如果由于某种原因不宜进行极限强度运动来测定其最大心率时,可用公式进行预测,以减少极限运动可能带来的危险。预测可采用以下任何一个公式推算:

$$\text{最大心率} = 210 - 0.8 \times \text{年龄} \quad (1)$$

$$\text{最大率心} = 220 - \text{年龄} \quad (2)$$

关于心率贮备,如果将极限负荷时心率与最大心率之差作为反映“心贮备”的指标,一个16岁青少年的心率贮备明显地比6岁儿童的大。因儿童的代谢贮备较少,所以心率增加较多作为对每搏输出量较少的补偿。次极限负荷的心率也是随年龄增长逐渐减少的。但与最大心率的减少速率不一致,它与训练程度、心脏调节机能水平等有密切关系。

6~15岁的儿童少年最大心率和次极限心率随年龄变化的趋势是逐渐下降,次极限心率随年龄逐渐下降率为12.5%。它与训练程度、心脏调节机能水平等有密切关系。因此心率贮备可作为反映心脏功能贮备的有用指标。

对于运动训练引起最大心率减少的解释,包括前已述及的一些内容,如有训练心脏的心肌乙酰胆碱(A—ch)含量增加、胆碱乙酰转移酶活性增高、 β 肾上腺素能受体量减少、循环中的儿茶酚胺含量、每搏输出量增加或中枢神经系统整合能力的变化等等。对有