

② 心率变化及其在运动实践中的应用

83-90

赵宝椿

(体育系)

G808.1

摘 要 本文主要综述了国内外就心率在运动中变化规律的研究情况,重点分析了心率在体育教学和运动训练中的应用价值。

关键词 心率变化 运动实践 应用价值

体育教学,

运动训练

0 引言

心率(Heart rate, HR)指每分钟心室跳动的次数。心率通常是通过脉搏频率测定的,即测定颈部的颈动脉或腕部的桡动脉每分钟传过的压力波数。正常人的心率与动脉频率相等。

心率不仅是心脏活动的生理指标,而且能客观地反映身体的生理功能变化,同时由于测量简便和实用,所以,在体育教学和训练中被广泛应用。本文参阅了最近国内外一些有关研究资料,就心率变化及其在运动实践中的应用作一综述与分析,供体育教师及教练员参考。

1 心率变化及其在运动实践中的应用

1.1 基础心率可以衡量机体健康状况,又可作为生理负荷量和运动性疲劳的监测指标之一。

基础心率,指清晨、清醒、卧位时所测出的脉率。我国健康成年人为75次·min⁻¹左右,生理变动范围在60—100次·min⁻¹。美国心脏学会报告,心率范围在50—100次·min⁻¹,安静状态的平均心率男子约78次·min⁻¹,女子约为84次·min⁻¹。一般情况下,身体健康

和机体功能状态良好时,基础心率是相对稳定的,并随着训练水平、健康状况的提高而日趋平稳下降。表1是布雷尔和埃利斯对202名奥运会运动员的研究结果。^[1]

表1 专项训练对安静时心率的影响

对 象	安静时平均心率 (次·min ⁻¹)	心 率 范 围 (次·min ⁻¹)
短距离运动员(100—200m)	65	58—76
中距离运动员(400—800m)	63	49—76
长距离运动员(1500—10000m)	61	46—64
马拉松运动员	58	50—67
自行车运动员(短距离)	67	53—76
自行车运动员(长距离)	64.5	51—73
举重运动员	80	55—108

运动员安静时心率下降的“心动徐缓”现象,是长期训练心脏产生适应性变化的结果。下降的情况受运动项目和运动水平的影响。从表一可知,耐力性运动员在安静时心率最低,专项距离越长,安静时心率越低。在运动员中,有文献可查的安静时最低心率为32次·min⁻¹,而短跑、举重或铅球运动员安静时的心率达到50—65次·min⁻¹的较少。

美国的阿尔比塔^[2]研究表明,如果发现运动员后一天比前一天的基础心率高于10—20次·min⁻¹,就必须找出原因。这可能是由于睡眠不足,或是由于精神方面和肠胃不适,也可能是感染了病菌或是感冒的迹象。如果排除这些因素,就有可能提示生理负荷量过大,或有疲劳累积的征兆。

1.2 可作为衡量体育教学的负荷阈。

体育教学负荷阈的生理学基础是心搏峰理论与最佳心率范围理论。

运动生理学将每搏量达峰值时的心率水平称“心搏峰”。综述国内外的研究成果^[3],运动时心率在110—130次·min⁻¹范围时(儿童100—120次·min⁻¹),每搏输出量达到最大值,心率进一步加快时将由于心室充盈时间的缩短而使每搏量有所下降。

运动生理学将心输出量能保持在较高水平的心率范围称“最佳心率范围”,约在每分钟110—120次至170—180次之间。日本的研究指出^[4],学生在一节课上平均心率达130—170次·min⁻¹为宜,130次·min⁻¹以下为小运动量,超过170次·min⁻¹就感到非常疲劳。我国一些地区和学校建议将体育课适宜生理负荷阈的平均心率标准定为120—140次·min⁻¹或130—150次·min⁻¹,日本中小学平均心率130—170次·min⁻¹的标准在我国似偏高^[5]。

从青少年生理特点出发,笔者认为,在体育课平均心率 $120-140\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ 中,应考虑充分利用“心搏峰”及“最佳心率范围”理论,即:一是要在心搏峰的心率水平上持续运动一定时间,使保持心搏峰值的时间较长,以发展心肌泵血功能;二是应注意到心搏峰时心率水平高不高。每分输出量不达最高水平,心泵功能就不能发挥最大泵血效率。因此,在体育课中也应有高潮,有心率出现高峰达最佳心率范围高限的时间,以使通过体育课让青少年心泵血功能获得更好锻炼。

如何用心率来确定课的生理强度,目前有两种计算方法:

其一,计算平均生理强度:

$$\text{平均生理强度} = \frac{\text{课的负荷总量}}{\text{课的总时间}}$$

例如,用遥测心率计算出一次体育课的总心率为5718次,本次课为45分钟,那么,本次课的平均生理强度即为 $127\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

其二,计算瞬时的生理强度,即在运动后的即刻直接测其心率。我国学者杨锡让的实验结果显示,运动后第一个10秒的心率与运动时心率无显著性差异,两者呈高度相关($r=0.998$),相当于运动时心率的99.7%。故在运动终点立即测定运动后第一个10秒的心率,完全能代表运动时的心率。第二个、第三个、第四个10秒的心率与运动时的关系见表2。^[8]

表2 运动时及运动后即刻心率关系表

	平均值	显著性	相差%	相关系数
运动时心率	178.6		100%	
运动后 0"—10"	178.3	>0.05	99.83%	0.99
运动后 11"—20"	171.0	<0.01	95.73%	0.82
运动后 21"—30"	162.4	<0.01	90.90%	0.73
运动后 31"—40"	153.6	<0.01	86%	0.67
运动后 41"—50"	146.6	<0.01	82.1%	0.48
运动后 51"—60"	140.8	<0.01	78.8%	0.22

杨氏认为,通过以上的换算,就可以从运动后的心率估测出运动时的心率,从而间接了解运动时的强度。

1.3 可作为控制有氧训练的强度阈。

Astrand等^[7]在50年代对86名男女成年人的研究证明,心率和最大吸氧量的百分比呈线性相关,并发现最大心率的百分数和最大吸氧量的百分数也呈线性相关,这就为使用心率控制运动强度奠定了理论基础。目前,在以发展有氧能力的耐力训练中,使用心率控制强度最为普遍。

发展有氧工作能力的方法可分间断性和持续性两大类,前者如间歇训练(用较低或中等强度、段落较长),后者如用中等或较低强度持续匀速练习等。但无论是间歇练习或持续练习,发展有氧能力最主要的是要掌握好强度,练习强度过大,则主要供能方式为无氧代谢供能,对有氧能力锻炼不大;练习强度过小,则身体心肺功能未达一定刺激强度,锻炼效果亦不佳。因此,掌握好发展有氧工作能力练习的“强度阈”是锻炼效果优劣的关键。不少学者对此进行了研究并提出了发展有氧工作能力适宜的强度阈,下面介绍四种可供参考的强度阈标准。

1.3.1 Cooper threshold (库珀阈)^[8]

美国著名军医库珀(Cooper)根据研究结果提出,有氧能力训练,心率应掌握在 $150 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$,并在这心率水平上至少持续练习5分钟。

1.3.2 Karvonen threshold (卡沃宁阈)^[8]

芬兰医生卡沃宁(Karvonen)根据大量研究资料指出,要使有氧能力得到锻炼和提高,练习强度必须达到一个最低阈限,即静息心率(HR_{rest})加上最高心率(HR_{max})与静息心率之差的60%。这有氧能力提高的阈限可用如下公式计算:

$$\text{强度阈}(HR) = HR_{rest} + 0.6(HR_{max} - HR_{rest})$$

最高心率的推算可用通常惯用的 $220 - \text{年龄}(\text{岁})$ 。

例如,一个静息心率 $70 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$ 的20岁青年人,他发展有氧工作能力练习的强度阈应为:

$$70 + 0.6 \times [(220 - 20) - 70] = 70 + 78 = 148 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$$

就是说,这名20岁的青年人发展有氧工作能力的适宜强度阈为每分钟心率148次。对有训练的运动员,这一阈值可略提高,提高到70%,同样一个20岁的田径运动员,静息心率 $65 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$,则用卡氏阈可为:

$$65 + 0.7 \times [(220 - 20) - 65] = 65 + 94 = 159 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$$

1.3.3 Anaerobic threshold, AT(无氧阈)^{[9][10]}

AT是生理学家魏塞曼(Wasserman)在1964年首次报导,而70年代正式运用到训练中的一个概念,它是指人体运动中由有氧代谢供能为主逐渐转向无氧代谢供能为主的转折点(或临界点,拐点)。因此,在AT之前,身体主要是有氧代谢供能,发展有氧工作能力。

以后,经过不少生理学家研究,认为AT强度训练对提高机体有氧能力效果显著。据研

究报导, 一般人AT约在50—65% $\dot{V}O_{2\max}$ (最大吸氧量)之间, 而运动员, 尤其是优秀运动员, 由于心肺功能强, AT可增大至80% $\dot{V}O_{2\max}$ 左右。这可将 $\dot{V}O_{2\max}$ 换成HRmax%, 然后根据年龄推算最高心率, 再推算AT时的心率水平(表三)。

表三、 $\dot{V}O_{2\max}$ 与HRmax%关系

HRmax%	$\dot{V}O_{2\max}$
50	28
60	42
70	56
80	70
90	83
100	100

例如, 一个20岁的青年人, 最高心率用220减年龄估算为200次 $\cdot\text{min}^{-1}$, AT在50—65% $\dot{V}O_{2\max}$ 之间, 据表三推算约为HRmax的65—75%, 那么他的发展有氧能力持续练习的强度阈为:

$$200 \times 0.65 \text{—} 0.75 = 130 \text{—} 150 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$$

再如, 一个20岁的优秀运动员, AT为80% $\dot{V}O_{2\max}$ 约相当于HRmax的80—90%, 其强度阈为:

$$200 \times 0.80 \text{—} 0.90 = 160 \text{—} 180 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$$

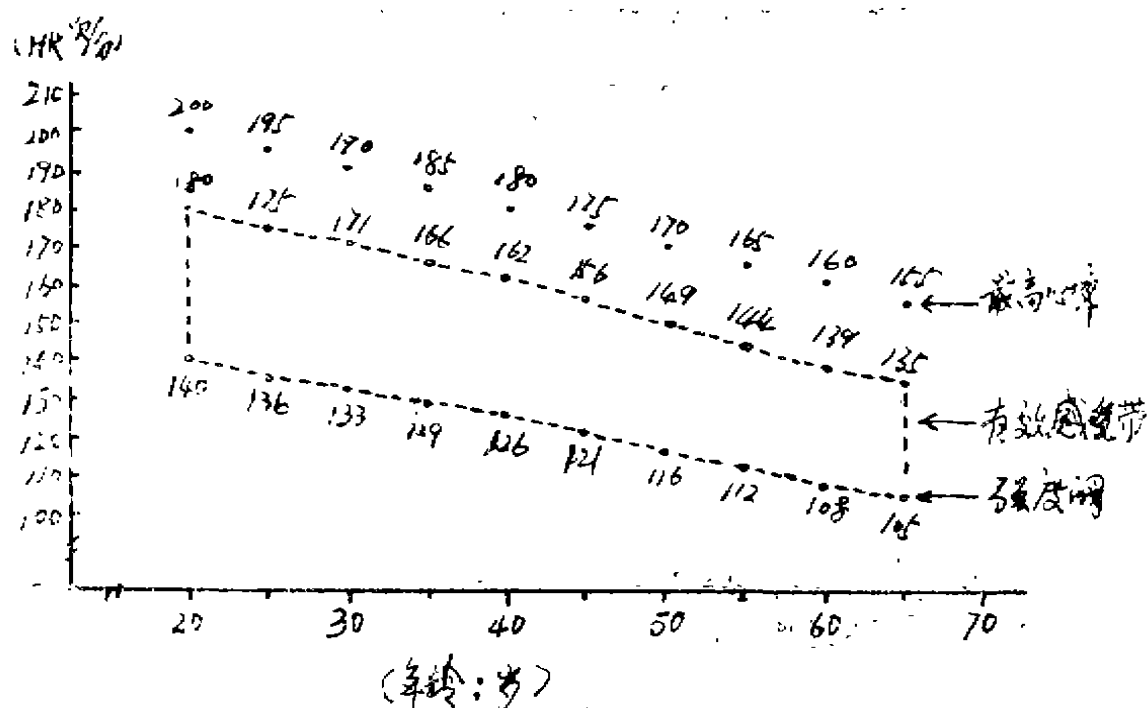
也就是说, 优秀运动员AT可较常人高, 发展有氧工作能力的强度可大些。

此外, 德怀勒的研究证实⁽¹⁰⁾, “最大心率70%时, 所有受试者的运动强度都在无氧阈值以下, ‘转折点’在最大心率80%—85%之间; 最大心率90%以上的强度运动时, 绝大部分人的强度达到无氧阈以上”。斯金尼尔(Skinner)等⁽¹¹⁾综合了当前有关“无氧阈”的研究成果, 提出“有氧阈”血乳酸平均浓度为2mmol $\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 心率平均值为130—150次 $\cdot\text{min}^{-1}$; “无氧阈”血乳酸浓度为4mmol $\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 心率平均值在160—180次 $\cdot\text{min}^{-1}$ 。因此, 伯尼·戴尔认为⁽¹²⁾, 有氧训练的心率要维持在130—160次 min^{-1} 之间, 无氧训练心率则应在180—200次 $\cdot\text{min}^{-1}$ 。我国学者杨奎生等⁽¹³⁾对运动员在实验室多级负荷和在800米及3000米段落中多次匀速跑后的血乳酸及心率进行了研究, 提出“转折点”的定位在相当于本人最好稳定成绩的30%, 心率在170次 $\cdot\text{min}^{-1}$, 这可作为在中长跑选择有氧和无氧代谢为主的训练手段的生理学依据。

2.3.4 Mcardle threshold(麦卡德尔阈)⁽⁸⁾

美国生理学家麦卡德尔(Mcardle)1981年指出, 增进有氧能力的练习强度阈应有年龄的区别, 不同年龄的人有和年龄对应的强度阈及训练有效心率范围。他提出了一个称之为

增进最大吸氧量能力的“有效感受带”图，可供不同年龄的人参考（见附图）。图中最上一



附图

排数字为不同年龄的相应最高心率（按 $220 - \text{年龄}$ ）推算，最下一排数字为不同年龄的相应发展有氧能力的强度阈，当中一排数字与最下一排数字之间组成一个发展有氧能力的“有效感受带”。

1.4 可作为间歇训练适宜休息时间的控制。

间歇训练法的生理学基础是德国心脏学家赖因德尔（Reindell）早期研究提出的“间歇训练的格施勒——赖因德尔定律”，即在负荷时心率达 $170 - 180 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$ ，间歇恢复至 $100 - 125 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$ 再重复负荷，使心输出量在负荷时和间歇休息时都保持在较高水平，在“最佳心率范围”之内，对心泵血功能有较大锻炼作用，同时由于肌肉活动有间歇休息，提高训练效果及机体抗疲劳能力。

美国生理学家伯杰（Berger）^[14]对不同年龄组练习中及间歇时的心率分别提出了不同要求（表4），可供应用参考。

表四 不同年龄组间歇训练的心率

年 龄 组	练 习 中	间 歇 时
20岁以下	190	150
20—29岁	180	140
30—39岁	170	130
40—49岁	160	120
50—59岁	150	115
60—69岁	140	105

1.5 可间接测定最大吸氧量 ($\dot{V}O_{2\max}$)。

$\dot{V}O_{2\max}$ 是指运动时每分钟所能摄入、并被身体利用的最大氧量。由于 $\dot{V}O_{2\max}$ 不再因强度的增大而增加,所以又称“氧极限”。它与耐力项目的运动成绩具有高度相关。因此, $\dot{V}O_{2\max}$ 可以作为测定有氧耐力的重要指标。

研究证明,在亚极量运动时,由于心率、功率及吸氧量在一定范围内呈线性相关,因而可利用人体在进行亚极量运动时,机体处于稳定状态的心率和功率,间接推算出 $\dot{V}O_{2\max}$ 。

目前,用心率间接推算 $\dot{V}O_{2\max}$ 的方法很多,而且不断有新的方法报告,这里仅介绍三种最近报导且又简单适用的方法:

1.5.1 Fox间接测定法:〔15〕

$$\dot{V}O_{2\max} (L \cdot \min^{-1}) = 6300 - 19.26 \times \text{亚极量心率} (\text{次} \cdot \min^{-1})$$

亚极心率,即为在功率自行车上以150瓦特骑车5分钟获得的心率。

1.5.2 台阶试验法:〔16〕

让被试者在节拍器指引下,以22次 $\cdot \min^{-1}$ 的心率上下63厘米(男)和43厘米(女)台阶3分钟,工作结束后,采取站姿测负荷后5—20秒之间的心率/15秒,再将15秒心率乘4,换算成一分钟心率,代入公式:

$$\text{男性: } \dot{V}O_{2\max} (ml \cdot Kg^{-1} \cdot \min^{-1}) = 111.3 - (0.42 \times HR \cdot \min^{-1})$$

$$\text{女性: } \dot{V}O_{2\max} (ml \cdot Kg^{-1} \cdot \min^{-1}) = 65.81 - (0.1847 \times HR \cdot \min^{-1})$$

1.5.3 HR_{150W} 推算 $\dot{V}O_{2\max}$:〔17〕

上海体科所根据141名上海市集训运动员在自行车功能量计上逐级增负荷直至150W的心率(HR_{150W}),提出了一个可供男女运动员通用的推算 $\dot{V}O_{2\max}$ 的一元回归方程式:

$$\dot{V}O_{2\max} (L \cdot \min^{-1}) = 7.9297 - 0.0804 \times HR_{150W} (\text{次} \cdot \min^{-1})$$

上述推算是在亚极量状态下进行的,但在极量或接近极量运动时,心率与最大吸氧量要发生线性分离,此时用心率测出最大吸氧量存有一定误差,精确度就差些。

2 小结

2.1 身体健康和机体功能状态良好时,基础心率是稳定的,并随着训练水平、健康状况的提高而平稳下降。

2.2 如果测出的基础心率, 后一天比前一天增加 $10-20 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, 说明机能反应不良; 如果不存在其他原因, 就可能提示生理负荷量过大或有疲劳积累的征兆。

2.3 体育课适宜生理负荷阈的平均心率标准为 $120-140 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$ 或 $130-150 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, 在实施过程中应考虑充分利用“心搏峰”和“最佳心率范围”理论。

2.4 杨锡让的实验结果显示, 运动后第一个10秒的心率与运动时心率无显著性差异, 两者呈高度相关($r=0.998$), 故用在运动后立即直接测心率的方法来确定课的生理强度, 较为适用。

2.5 发展有氧能力练习的强度阈有“库珀阈”、“卡沃宁阈”、“无氧阈”、“麦卡德尔阈”等, 均可供实际训练及锻炼参考; 但在运用时, 需注意练习对象的体质状况, 即体质好的人可将强度阈适当提高, 而体质差者则适当降低。

2.6 Reindell提出, 间歇训练有氧强度阈心率在 $170-180 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, 间歇时间可待心率恢复至 $100-125 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, 再开始进行下一次的练习。

2.7 心率在亚极量运动时, 心率和 $\dot{V}O_2 \text{max}$ 呈线性关系, 因此可用心率来推算 $\dot{V}O_2 \text{max}$ 。但由于极量或接近极量运动时, 心率和 $\dot{V}O_2 \text{max}$ 发生线性分离, 因此心率预测 $\dot{V}O_2 \text{max}$ 存在一定的误差。

2.8 心率与AT之间存在一定关系。Skinner提出, “有氧阈”的血乳酸浓度为 $2 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 心率为 $130-150 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$, “无氧阈”的血乳酸浓度为 $4 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 心率为 $160-180 \text{次} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.9 心率测试简便, 便于推广, 因此是体育教学与运动训练中可广泛使用的一种生理指标, 有较大的实用价值。

参 考 文 献

- 1 运动生理学讲义, 天津体院生理教研室, 1980, 11—15
- 2 [美国]阿尔比诺, 在训练中进行体重和心率监督, 体育科研, 1987, (3), 65
- 3 王步标等, 运动生理学, 高教出版社, 1992, 518
- 4 石河利宽, 关于脉搏次数, 体育科学(日), 1977, 4
- 5 运动生理学教材编写组, 运动生理学, 高教出版社, 1986, 242
- 6 杨锡让, 实用体育生理学, 北京体院出版社, 1986, 82
- 7 Astrand, P. O. and Rodahl, K. Textbook of Work Physiology, New York, McGraw-Hill Book Co, 1977, 352
- 8 邓树勋等, 发展有氧能力练习的强度阈, 体育教学与训练, 1992, (2): 29—30
- 9 同[3]
- 10 詹姆斯·戴维森, 威克多·康沃特诺, 予耐力训练强度的心率方法比较, 体育医学与科学, 1975, (4): 295
- 11 詹姆斯·斯金厄尔等, 由有氧向无氧代谢转换, 体育运动研究季刊, 1981, (11)
- 12 伯尼·吉尔, 监测心率, 体育教学参考资料, 北京体院, 1979: (4)
- 13 杨奎生等, 中长跑训练强度选择的初步探讨, 1980年全国体育科学学术报告会论文摘要汇编, 人民体育出版社, 1980: 173
- 14 周石等译, Richard A. Berger, Applied Exercise physiology, 人民卫生出版社, 1985: 133
- 15 肖震宇等译, Edward L. Fox, Sports Physiology, 人民体育出版社, 1984: 139
- 16 同[6]: 28
- 17 同[3]: 216