

·临床研究·

# 三种力量训练方案对健康青年心脏自主神经功能的影响\*

于文兵<sup>1</sup> 高丽丽<sup>2</sup> 李天义<sup>3,4</sup> 胡斐<sup>3,4</sup> 王晓磊<sup>3,4</sup> 王金之<sup>3,4</sup> 黄佩玲<sup>3,4</sup> 马继政<sup>3,4,5</sup>

## 摘要

**目的:**本研究评估了不同力量训练方案对心脏自主神经功能产生的影响。

**方法:**研究采用随机交互式设计,20名健康男性受试者完成3次不同方案的力量训练,分别记录R-R间期:包括安静状态5min(卧位),整个力量训练期间,训练后恢复期5min(卧位),进行相应心率变异(HRV)分析,并分别进行血乳酸检测。

**结果:**三种力量训练方案运动期及恢复期心脏的自主神经功能发生不同的调整。肌肉耐力训练方案(ME)和肌肉肥大训练方案(MH)心脏自主应答基本趋于一致,但肌肉最大力量训练方案(MM)在整个运动期间心率(HR)指标低于ME和MH( $P < 0.05$ ),运动中全部NN间期的标准差(SDNN)和心率变异性系数(SDNN/HR)指标略高于方案ME和MH,5min恢复期高低频比值(LF/HF)指标趋于安静状态。此外,运动后即刻MM血乳酸的浓度显著低于方案ME和MH( $P < 0.05$ )。

**结论:**方案MM在整个运动中交感活性程度相对增加,恢复期交感活性回落较快,表明不同力量训练方案对心脏自主神经功能产生影响存在差异,并可能对心脏的健康产生不同的影响。

**关键词** 力量训练;自主神经功能;心率变异性;血乳酸

中图分类号:R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2017)-05-0548-05

Effects of three specific resistance training programmes on cardiac autonomic responses in healthy young men/YU Wenbing, GAO Lili, LI Tianyi, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2017, 32(5): 548—552

## Abstract

**Objective:** This text was to evaluate the changes of cardiac autonomic responses following three specific resistance training programmes.

**Method:** In a randomized cross-over design, 20 healthy young males performed three specific resistance trainings. The R-R interval was recorded, respectively, including rest with supine position (5 min), 30 min static standing and recovery with supine position (5 min), and their heart rate variability (HRV) was analyzed. The blood lactic acid was assessed immediately after exercise.

**Result:** Three specific resistance training programmes induced the different nervous system adjustments of heart during exercise and recovery. The changes of the ME and MM were similar. However, during exercise and recovery 5 min after exercise, the HR of MM significantly decreased ( $P < 0.05$ ) compared to ME and MH. During exercise, SDNN and SDNN/RR mild increased, and during recovery, the LF/HF tended to rest value. In addition, immediately after exercise, the blood lactic acid for significantly decreased compared to ME and MH

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.05.011

\*基金项目:解放军理工大学军事理论研究基金课题(jl2015021)

1 中国海洋大学体育系,青岛,266100; 2 青岛海慈医疗集团神经内科; 3 解放军理工大学军人身体适应训练研究中心; 4 南京体育学院运动健康科学系; 5 通讯作者

作者简介:于文兵,男,硕士,讲师;收稿日期:2016-09-04

( $P < 0.05$ ).

**Conclusion:** During exercise, the sympathetic activities were relatively higher. During recovery 5 min, the sympathetic recovery was faster, suggesting that three specific resistance training programmes produce different effects on cardiac autonomic responses and probably produce different effects on heart healthy.

**Author's address** Department of Physical Education, Ocean University of China, Qingdao, 266100

**Key word** resistance training; autonomic function; heart rate variability; blood lactic acid

力量训练被运动员和普通人群广泛用来提高运动能力和改善身体健康状况<sup>[1]</sup>。尽管现代科技的发展,降低了日常活动对最大肌力的需求,但研究表明肌肉力量仍然是维持身体健康的一个最基本要素<sup>[1]</sup>。力量训练不仅对神经肌肉功能产生重要的影响,对心血管系统也产生重要的影响。力量训练也被广泛用于预防心脏疾病,辅助治疗一些慢性心血管疾病<sup>[2]</sup>。

力量训练的训练参数包括重复次数、组数、运动速度、组间休息、训练频率等。通过调控这些训练学的参数,采用周期训练计划可获得不同的训练效果<sup>[1]</sup>。

运动时,自主神经系统在调节心血管系统方面起到关键的作用,增加心率(heart rate, HR)和心输出量,从而满足工作肌肉代谢上的需求<sup>[3]</sup>。运动中HR增加和运动后HR的恢复取决于交感和副交感神经系统的相互作用<sup>[3]</sup>。研究表明,肌肉收缩可改变控制心脏的交感神经和副交感神经的活性,调控血管的交感神经系统<sup>[4]</sup>。此外,肌肉收缩和代谢活动有关的外周机制,可通过肌纤维的Ⅲ和Ⅳ类传入神经,传递信息至心血管的中枢区域,影响心脏的自主神经功能<sup>[5]</sup>。

心率变异性(heart rate variability, HRV)作为一种无创的技术,用于检测和评定心脏自主神经功能(autonomic nervous system, ANS)的变化。不同力量训练可能改变一些心血管系统的指标<sup>[3]</sup>。众所周知,运动(包括力量训练)可以使心脏自主神经功能产生变化,但不同力量训练对心脏自主神经功能的影响及机制并不清楚。因此,本研究拟通过评估三种经典力量训练方案对心脏自主神经功能产生的影响,探讨不同力量训练对健康青年心脏自主神经功能产生的影响,以期为进一步开展力量训练对慢性心血管疾病患者心脏健康影响的研究打下基础。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

研究对象为20名健康男性解放军理工大学二年级大学生。年龄:( $19.39 \pm 0.61$ )岁,身高:( $174.11 \pm 5.42$ )cm,体重:( $66.33 \pm 6.22$ )kg,体重指数(body mass index, BMI): $21.40 \pm 1.46$ ,所有研究对象按照军校学生训练要求(包括军体操课、体能训练)有规律训练1年,但无器械力量训练历史。所有测试者均无疾病史、吸烟史和酗酒史。测试期间除正常参加学校组织的训练外,不进行其他剧烈运动。排除超重或偏瘦的学员,排除标准为: BMI < 18.5 或 BMI > 24.0。

### 1.2 方法和指标

**1.2.1 不同力量训练方案:**受试人员1RM(RM为可重复1次的最大重量值)测试采用Glass等<sup>[6]</sup>的测试方案。

研究采用随机交互式的设计:受试者随机分成三组,分别为A、B、C三组,在第一次训练中,A组进行最大力量训练,B组进行肌肉耐力训练,C组进行肌肉肥大训练,休息至少3d后,A组进行肌肉耐力训练,B组进行肌肉肥大训练,C组进行最大力量训练,休息至少3d后,A组进行肌肉肥大训练,B组进行最大力量训练,C组进行肌肉耐力训练。力量训练方案设计参照Bird等<sup>[1]</sup>的设计方案,选择4个力量训练的训练手段,包括卧推、屈膝硬拉、前蹲、肩推杠铃。训练的顺序为卧推、屈膝硬拉、前蹲和肩推杠铃。为避免上次训练的影响,每次训练时间间隔不少于3d,期间禁止剧烈运动。运动方式为整个关节,运动节奏为离心1—2s和向心1—2s。不同训练方案简述如下:

肌肉耐力(muscle endurance, ME)训练方案,负荷强度为40% 1RM,每组重复22—25次,组间休息时间1min,完成3组;肌肉肥大(muscle hypertrophy, MH)训练方案:负荷强度为60% 1RM,每组重复8—12次,组间休息时间3min,完成3组;最大力量训练(MM)方案:负荷强度为80% 1RM,每组重

复4—6次,组间休息时间5min,完成3组。

分别利用Polar team2团队心率仪(型号:team2,生产公司:博能,产地:Finland)记录R-R间期,包括10min安静状态(卧位),力量训练期,训练后恢复期10min无负重状态(卧位)。通过polar team软件导出数据,并利用Firstbeat SPORTS系统(version 4.4.0.2, Firstbeat Technologies Ltd., Jyväskylä, Finland)进行分析,数据采集的时间为安静状态后5min(5—10min),整个力量训练期间(包括收缩时及休息时),以及恢复期10min前5min(恢复期前5min心率变异性指标变化最明显,恢复期HRV研究一般统计恢复期前5min)。实验室室温为22—26℃,湿度为50%—56%。

研究指标为HRV的时域指标和频域指标。时域指标包括全程相邻NN间期之差的均方根值(RMSSD),单位为ms;全部NN间期(窦性R-R间期)的标准差(SDNN);心率变异性系数(SDNN/HR)。频域指标包括低频(LF),单位为ms<sup>2</sup>,频谱范围:0.04—0.15Hz;高频(HF),单位为ms<sup>2</sup>,频谱范围:0.15—0.40Hz;低高频比值(LF/HF)。以及其他的定量参数包括:呼吸频率(RespR)和运动后的过量氧消耗峰值(peak of excess post-exercise oxygen consumption, EPOCpeak)和运动冲量(training impulse, TRIMP),可定量反映运动总量和运动强度。

**1.2.2 血乳酸的测试:**在不同力量训练方案后即刻,利用便携式乳酸测试仪(EKF, Diagnostic, 德国)采集指尖血进行血乳酸测试。

### 1.3 统计学分析

结果以均数±标准差表示,数据采用SPSS 17.0统计软件处理,进行方差齐性检验,并采用单因素方差进行多组分析,组间差异采用Post-hoc检验。

## 2 结果

### 2.1 受试人员1RM的测试结果

受试人员1RM值分别为,卧推:(91.45±7.55)kg;前蹲:(81.25±8.52)kg;硬拉:(97.65±10.59)kg;肩推杠铃:(17.90±2.57)kg。

### 2.2 运动中不同力量训练方案HRV指标和其他定量指标的变化

#### 2.2.1 不同力量训练方案HRV时域指标的变化:虽

然整个运动中三种负荷方案的HR均值均较安静显著增加( $P < 0.05$ ),但MM方案HR显著低于ME和MH( $P < 0.05$ );三种方案RMSSD均值均显著低于安静值( $P < 0.05$ ),但三种方案间不存在显著差异( $P > 0.05$ );三种方案SDNN均值呈增加趋势,不同负荷间不存在显著的差异( $P > 0.05$ ),但MM方案SDNN均值高于安静值( $P < 0.05$ );此外,与安静值相比,ME和MH方案SDNN/HR均值显著降低( $P < 0.05$ ),但MM方案无显著降低( $P > 0.05$ ),不同负荷间不存在显著的差异( $P > 0.05$ ),见表1。

**2.2.2 不同力量训练方案HRV频域指标的变化:**整个运动中三种负荷方案的HF和LF均值均较安静显著降低( $P < 0.05$ ),LF均值MM显著高于ME和MH( $P < 0.05$ ),LF/HF均显著增加( $P < 0.05$ ),但不同负荷间不存在显著的差异( $P > 0.05$ ),见表2。

**2.2.3 不同力量训练方案其他定量参数指标的变化:**整个运动中三种负荷方案RespR均值均显著高于安静值( $P < 0.05$ ),与方案ME相比,MH和MM显著降低( $P < 0.05$ ),此外,MM显著低于MH( $P < 0.05$ )。与安静值相比,三种负荷方案EPOCpeak均值均显著增加( $P < 0.05$ ),但MH和MM显著低于ME( $P < 0.05$ );同样的,三种方案TRIMP均值均显著大于安静值( $P < 0.05$ ),此外,MM显著高于MH( $P < 0.05$ ),见表3。

表1 整个运动期间不同力量训练方案HRV时域指标的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=20$ )

	HR (beat/min)	RMSSD (ms)	SDNN (ms)	SDNN/HR (ms/beat)
安静值	66.39±10.25	39.33±19.12	77.78±30.03	1.23±0.61
ME	123.37±13.86 <sup>①</sup>	11.68±6.07 <sup>①</sup>	86.00±30.52	0.72±0.32 <sup>①</sup>
MH	117.18±11.20 <sup>①</sup>	11.88±4.44 <sup>①</sup>	82.12±18.95	0.72±0.22 <sup>①</sup>
MM	105.79±12.33 <sup>①②③</sup>	17.11±10.30 <sup>①</sup>	99.84±39.05 <sup>①</sup>	0.98±0.46

与安静值相比:① $P < 0.05$ ;与ME相比:② $P < 0.05$ ;与MH相比:③ $P < 0.05$

表2 整个运动期间不同力量训练方案HRV频域指标的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=20$ )

	HF(ms <sup>2</sup> )	LF(ms <sup>2</sup> )	LF/HF(%)
安静值	2103.99±1532.61	3648.46±2424.50	213.64±113.16
ME	237.46±175.92 <sup>①</sup>	533.05±380.47 <sup>①</sup>	438.63±145.87 <sup>①</sup>
MH	279.52±185.73 <sup>①</sup>	662.11±385.90 <sup>①</sup>	423.57±186.46 <sup>①</sup>
MM	372.62±307.38 <sup>①</sup>	1359.24±1047.49 <sup>①②③</sup>	525.43±189.09 <sup>①</sup>

与安静值相比:① $P < 0.05$ ;与ME相比:② $P < 0.05$ ;与MH相比:③ $P < 0.05$

2.3 恢复期5min不同力量训练方案HRV指标变化

2.3.1 不同力量训练方案HRV时域指标的变化:恢复期5min内,三种负荷方案HR向正常值回归,但仍显著高于安静值( $P < 0.05$ ),MM显著低于ME( $P < 0.05$ )。RMSSD低于安静值( $P < 0.05$ ),但MM高于ME( $P < 0.05$ )。方案ME和MM的SDNN均值回归安静值,但方案MH低于安静值。此外,以上三组SDNN/HR均值低于安静值( $P < 0.05$ ),但组间不存在显著差异( $P > 0.05$ ),见表4。

2.3.2 不同力量训练方案HRV频域指标的变化:恢复期5min内,三种负荷方案HF和LF低于安静值( $P < 0.05$ ),组间不存在显著的差异( $P > 0.05$ )。ME和MH的LF/HF高于安静值( $P < 0.05$ ),而方案MM的LF/HF接近安静值,组间不存在显著的差异( $P > 0.05$ ),见表5。

2.4 不同力量训练方案血乳酸的变化

与安静状态相比,不同力量训练方案后血乳酸显著增加( $P < 0.05$ ),MM组显著低于ME和MH组( $P < 0.05$ ),但ME和MH组不存在显著差异( $P > 0.05$ )。见图1。

表3 整个运动期间不同力量训练方案其他定量指标的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=20$ )

	RespR(times/min)	EPOCPeak(ml/kg)	TRIMP
安静值	12.52±2.42	0.38±0.13	0.11±0.32
ME	24.94±2.94 <sup>①</sup>	24.15±13.92 <sup>①</sup>	26.47±9.03 <sup>①</sup>
MH	21.85±2.42 <sup>①②</sup>	13.24±6.85 <sup>①②</sup>	21.47±9.30 <sup>①</sup>
MM	19.91±2.85 <sup>①②③</sup>	9.40±6.39 <sup>①②</sup>	27.42±12.17 <sup>①③</sup>

与安静值相比:① $P < 0.05$ ;与ME相比:② $P < 0.05$ ;与MH相比:③ $P < 0.05$

表4 恢复期5min不同力量训练方案HRV时域指标的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=20$ )

	HR (beat/min)	RMSSD (ms)	SDNN (ms)	SDNN/HR (ms/beat)
安静值	66.39±10.25	39.33±19.12	77.78±30.03	1.23±0.61
ME	91.05±11.25 <sup>①</sup>	18.05±12.41 <sup>①</sup>	64.53±19.88	0.73±0.27 <sup>①</sup>
MH	86.28±6.01 <sup>①</sup>	19.83±8.03 <sup>①</sup>	59.22±11.65 <sup>①</sup>	0.69±0.16 <sup>①</sup>
MM	83.32±8.00 <sup>①②</sup>	27.53±14.12 <sup>①②</sup>	72.37±30.07	0.89±0.43 <sup>①</sup>

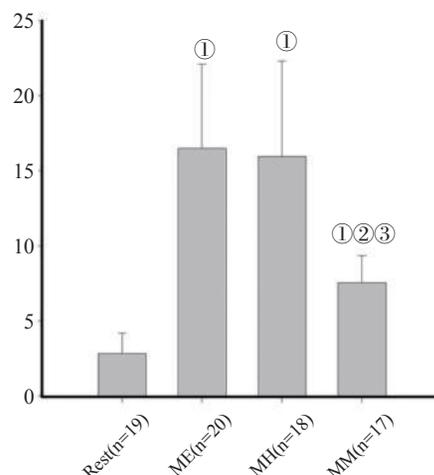
与安静值相比:① $P < 0.05$ ;与ME相比:② $P < 0.05$

表5 恢复期5min不同力量训练方案HRV频域指标的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=20$ )

	HF(ms <sup>2</sup> )	LF(ms <sup>2</sup> )	LF/HF(%)
安静值	2103.99±1532.61	3648.46±2424.50	213.64±113.16
ME	240.39±192.33 <sup>①</sup>	883.26±536.46 <sup>①</sup>	451.25±235.82 <sup>①</sup>
MH	431.31±349.01 <sup>①</sup>	1069.64±580.42 <sup>①</sup>	354.30±131.91 <sup>①</sup>
MM	742.44±633.89 <sup>①</sup>	1551.19±949.53 <sup>①</sup>	347.62±217.46

与安静值相比:① $P < 0.05$

图1 不同力量训练方案即刻血乳酸的变化



与安静值相比:① $P < 0.05$ ;与ME相比:② $P < 0.05$ ;与MH相比:③ $P < 0.05$

3 讨论

心率变异性的研究对象是逐次心动周期的时间差别,是反映自主神经功能活性和定量评估心脏交感神经与迷走神经张力及其平衡性的敏感指标,对心血管病的诊断和预后有重要的研究价值。在体育运动中,HRV也被用于评定运动能力、运动训练监控、运动员科学选材等<sup>[7-8]</sup>。

研究表明,长期耐力训练HRV指数增加<sup>[9]</sup>,与副交感活性增加相关;力量训练时心脏自主神经功能会自动调节,以适应运动应激<sup>[2-3]</sup>。但目前不同力量训练方案对心脏自主神经功能产生的影响尚不清楚。本研究发现,不同力量训练方案对健康青年心脏训练期和恢复期自主神经功能产生的影响不同,进而可能对健康青年心脏健康产生不同影响。

3.1 三种不同力量训练方案训练期心脏自主神经功能的变化

力量训练在提高和维持骨骼肌的健康方面起到重要作用。通过调控力量训练的参数,不仅骨骼肌可获得不同生理适应<sup>[10]</sup>,心脏自主神经功能也会受到影响而发生相应的适应性变化。但三种训练方案对训练期心脏自主神经功能的影响具有一定的相似性和差异性。

3.1.1 训练期心脏自主神经功能变化的相似点:表1、表2中分别列出了不同力量训练方案运动期间

HRV时域、频域指标的变化情况。由表中数据可以看出,在三种不同力量训练方案中,代表着副交感活性的RMSSD、HF均值较安静值都显著降低( $P < 0.05$ ),主要代表交感活性LF均值较安静也都明显降低( $P < 0.05$ ),但反映交感神经和副交感神经平衡性的指标LF/HF却较安静均显著增加( $P < 0.05$ )。本研究的结果表明:三种力量训练方案均使心脏交感神经的活性增加,心交感神经和迷走神经间的平衡关系被打破,从而适应运动的正常生理需求。本研究结果与高炳宏等<sup>[11]</sup>、刘文举等<sup>[12]</sup>的研究结果相符。

**3.1.2 训练期心脏自主神经功能变化的差异:**三种训练方案引起的心脏自主功能变化的特点存在着差异性。表1数据显示:不同力量训练方案ME和MH各时域指标(RMSSD、SDNN、SDNN/HR)均值无明显差异( $P > 0.05$ );表2数据显示:不同力量训练方案ME和MH各频域指标(HF、LF、LF/HF)均值也无明显差异( $P > 0.05$ ),说明运动期间方案ME和MH心脏自主神经应答方式基本相似。但训练期间方案MM的LF均值明显高于方案ME和MH( $P < 0.05$ ),LF指标主要代表交感活性<sup>[13]</sup>,所以方案MM交感活性增强最为显著,这可能与方案MM负荷相对最大有关。一些研究同样表明,随着负荷增加副交感活性下降,交感的活性增加<sup>[14]</sup>。一般情况下,对于低强度的运动,心率增加几乎通过迷走抑制,直到运动强度接近或超过最大稳态,交感的活性才增加<sup>[15]</sup>,本研究的结果支持上述研究结论。从表3中监测的其他数据可以看出,虽然MM方案整体上的RespR显著低于方案ME和MH( $P < 0.05$ ),相对的EPOCPeak较低,但总的TRIMP并不降低。说明MM方案运动期交感活性相对增加,与总的负荷量关系不大,可能和较高的中枢指令有关。

另外,训练期间方案MM的HR均值低于方案ME和MH( $P < 0.05$ ),训练期间方案MM的SDNN均值显著高于安静值( $P < 0.05$ ),而方案ME和MH的SDNN均值与安静相比无显著差异( $P > 0.05$ )。由于SDNN反映的是自主神经功能总的调控,是评价整体HRV大小的一个最直观的指标。SDNN降低使室颤阈值降低,对心脏属不良因素;SDNN升高可提高室颤阈值,对心脏属积极因素<sup>[16]</sup>。提示方案MM较ME和MH对健康青年心脏自主神经功能的

影响相对更为积极。

除上述差异之外,ME和MH方案SDNN/HR均值较安静显著降低( $P < 0.05$ ),MM方案无显著降低,说明ME和MH方案心率变异性的分散程度较小,这也反映出不同力量训练方案对心脏自主神经功能的影响存在不同。

### 3.2 三种不同力量训练方案恢复期心脏自主神经功能的变化

表4—5中分别列出了不同力量训练方案恢复期间HRV时域、频域指标的变化情况。运动后恢复期,HR恢复表现在副交感重新激活,以及随后的交感抑制。从表中数据可以看出,5min恢复期三种方案HR均值都显著高于安静( $P < 0.05$ ),RMSSD和HF均显著低于安静值( $P < 0.05$ ),说明三种训练方案在恢复期副交感神经活性仍处于较低水平。但方案ME和MH,其LF/HF显著高于安静值( $P < 0.05$ ),说明这两种方案交感神经活性在恢复期仍处于相对较高水平;而MM方案LF/HF与安静值相比,不存在显著的差异( $P > 0.05$ ),提示方案MM交感活性程度可能低于方案ME和MH。Chen等<sup>[17]</sup>研究发现力量训练(4个训练动作,强度为1RM的60%—90%,组间恢复时间90s)后,HF显著降低,LF显著增加;Kingsley等<sup>[18]</sup>研究发现3组10RM训练,组间休息120s,在运动后25min内,存在较低的延长性迷走调节,交感活性增加。根据Chen、Kingsley的研究结论推断,方案ME和MH恢复期与MM的差异,可能与存在较低的延长性迷走调节有关,从而整体表现为恢复期间交感神经神经活性仍处于高水平。

另外,表4数据显示:MH方案SDNN均值明显低于安静( $P < 0.05$ ),ME和MH方案SDNN均值与安静相比无差异( $P > 0.05$ ),提示方案MH较ME和MH可能对心脏产生不利的影 响<sup>[16]</sup>。由此推断,从有利于心脏健康的角度出发,健康青年从事最大力量的训练对心脏影响可能要优于从事肌肉肥大的力量训练。该研究结论是否同时适用于慢性心血管疾病患者,需要做进一步的针对性研究。从表4恢复期HR测试结果来看,MM方案心率更接近安静值,所以方案MM运动后的心率恢复速度可能快于ME和MH。Buchheit等<sup>[19]</sup>认为力量训练后,无氧的代谢堆积(乳酸, $H^+$ 离子和无机磷酸盐等)和其他的因素

(如快肌纤维的募集程度)可能影响运动HR恢复。图1显示,方案ME和MH乳酸浓度显著高于MM( $P < 0.05$ ),可能延缓迷走神经重新激活,延长交感神经的活性,表现为MM方案心率恢复速度相对较快。本研究结果支持Buchheit等人的研究结果。

此外,本研究对象为无器械训练经验的人群,对于新手来说,自主神经的应答可能不同于一定训练年限的人群。本研究结果表明三种经典力量训练心脏自主调节存在一定的差异,这些差异的变化长期能否影响心脏产生不同的适应,尤其对慢性心血管疾病患者心脏功能的影响需要进一步研究。

### 参考文献

- [1] Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables[J]. *Sports Med*, 2005, 35(10):841—851.
- [2] Hellsten Y, Nyberg M. Cardiovascular Adaptations to Exercise Training[J]. *Compr Physiol*, 2015, 6(1):1—32.
- [3] Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Autonomic adjustments to exercise in humans[J]. *Compr Physiol*, 2015, 5(2):475—512.
- [4] Mitchell JH. J.B. Wolfe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1990, 22(2):141—154.
- [5] Stebbins CL, Walser B, Jafarzadeh M. Cardiovascular responses to static and dynamic contraction during comparable workloads in humans[J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2002, 283(3):R568—575.
- [6] Glass SC, Stanton DR. Self-selected resistance training intensity in novice weightlifters[J]. *J Strength Cond Res*, 2004, 18(2):324—327.
- [7] 宋淑华,刘坚,高春刚.心率变异性指标在体育研究领域中的应用[J].*体育教育与研究*,2010,25(5):125—128.
- [8] 朱晓梅,严政,刘凌,等.女子手球运动员力竭运动后分析[J].*体育与科学*,2008,29(6):63—67.
- [9] Koenig J, Jarczok MN, Wasner M, et al. Heart rate variability and swimming[J]. *Sports Med*, 2014, 44(10):1377—1391.
- [10] Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations[J]. *Sports Med*, 2004, 34(10):663—679.
- [11] 高炳宏,陈佩杰,李之俊,等.运动与心率变异性[J].*中国运动医学杂志*,2003,22(5):490—492.
- [12] 刘文举.运动对心率变异性的影响[J].*山西体育科技*,2011,31(2):28—32.
- [13] Shin K, Minamitani H, Onishi S, et al. Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29(11):1482—1490.
- [14] Kingsley JD, Figueroa A. Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2016, 36(3):179—187.
- [15] Fu Q, Levine BD. Exercise and the autonomic nervous system[J]. *Handb Clin Neurol*, 2013, (117):147—160.
- [16] 杨冰,贾志越,吴元军,等.平板运动试验心率恢复及心率变异性与冠心病的相关分析[J].*实用心电图学杂志*,2016,25(1):35—38.
- [17] Chen JL, Yeh DP, Lee JP, et al. Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training[J]. *J Strength Cond Res*, 2011, 25(6):1546—1552.
- [18] Kingsley JD, Hochgesang S, Brewer A, et al. Autonomic modulation in resistance-trained individuals after acute resistance exercise[J]. *Int J Sports Med*, 2014, 35(10):851—856.
- [19] Buchheit M, Laursen PB, Ahmaidi S. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2007, 293(1):H133—141.