抑郁对次极量运动后心率变异性和心率恢复的影响

王露露，李丹慧，程欣欣，刘 莉，由 丽*

南京医科大学附属脑科医院，江苏 南京 210029

* 通信作者：由丽，E-mail：youli1978@163.com

收稿日期：2025-12-09；接受日期：2026-02-25

基金项目：江苏省卫健委重点项目（ZD2022030）

DOI：10.3724/SP.J.1329.2026.09006

摘要 **目的** 探讨抑郁对次极量运动后心率变异性（HRV）和心率恢复（HRR）的影响。**方法** 回顾性选取2020年1月—2024年1月在南京医科大学附属脑科医院康复医学科行心肺运动检查的48例受试者为研究对象。其中，抑郁症患者25例纳入病例组，既往无焦虑、抑郁等心理疾病且汉密尔顿抑郁量表-17（HAMD-17）评分≤7分者23例纳入对照组。2组均行次极量踏车运动试验，采集并比较2组次极量运动后HRV指标相邻RR间期差值的均方根（RMSSD）及HRR指标恢复期第1、2、3分钟的心率恢复（HRR1、HRR2、HRR3）情况。合并2组数据，采用单因素及多因素线性回归分析（校正性别、年龄、BMI）评估抑郁与自主神经功能的关系。**结果** 病例组HAMD-17评分明显高于对照组（$P<0.05$）。病例组次极量运动后RMSSD及HRR1、HRR2、HRR3均明显低于对照组（$P<0.05$）。单因素及多因素回归分析显示，HAMD-17评分与次极量运动后RMSSD、HRR1、HRR2、HRR3均呈负相关（$P<0.05$），校正混杂因素后关联仍有统计学意义（$P<0.05$）。**结论** 抑郁可降低次极量运动后副交感神经功能活性，导致自主神经恢复延迟，且HAMD-17评分与次极量运动后HRV和HRR指标呈负相关。

关键词 抑郁；自主神经系统；心率变异性；心率恢复；次极量运动；回归分析

抑郁症是一种常见的心身疾病，具有高发病率、高致残率、高自杀率、高复发率等特点[1]。长期抑郁状态与心血管疾病的发生和预后密切相关。一项为期10年、纳入853名无心血管疾病成年人的前瞻性研究表明，在控制其他已确认的心血管危险因素后，长期处于抑郁状态的成年人其心血管疾病发生率是正常人群的4倍[2]。抑郁等不良情绪已被确认为心血管疾病发生的独立危险因素，其机制可能涉及下丘脑-垂体-肾上腺轴激活、炎症反应等多种途径，进而导致心脏自主神经功能失调[3-5]。

自主神经系统（autonomic nervous system，ANS）在心血管功能调控中发挥关键作用，运动前后其活动发生复杂变化，以协助心血管系统适应运动负荷。已有研究表明，通过评估运动后心率变异性（heart rate variability，HRV）和心率恢复（heart rate recovery，HRR）等指标，可了解自主神经系统的功能状态，并对慢性和退行性疾病患者的心血管功能评估具有重要意义[6-7]。然而，目前通过评估运动后HRR和HRV指标探讨抑郁患者运动后心脏自主神经功能变化的研究仍较为有限。因此，本研究旨在比较抑郁患者与健康人群运动后HRV和HRR方面的差异，揭示抑郁情绪对心脏自主神经的不良影响，为抑郁患者心血管功能评估提供依据。

1 资料与方法

1.1 病例选择标准

1.1.1 诊断标准 由专业心理医师依据《中国精神障碍分类与诊断标准第三版（精神障碍分类）》[8]及《疾病和有关健康问题的国际统计分类》[9]中关于抑郁症的诊断标准确诊。患者需至少符合以下8项症

引用格式：王露露，李丹慧，程欣欣，等. 抑郁对次极量运动后心率变异性和心率恢复的影响[J]. 康复学报，2026，36(9)：654-659，666.

WANG L L，LI D H，CHENG X X，et al. Effects of depression on heart rate variability and heart rate recovery after submaximal exercise [J]. Rehabil Med，2026，36(9)：654-659，666.

DOI：10.3724/SP.J.1329.2026.09006

©《康复学报》编辑部，开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议 © *Rehabilitation Medicine*，OA under the CC BY-NC-ND 4.0

状中的4项：① 兴趣丧失，无愉快感；② 精力减退或存在明显疲乏感；③ 精神运动性迟滞或激越；④ 自我肯定能力下降、自责情绪明显或伴有愧疚感；⑤ 联想困难，或自觉思考能力下降；⑥ 频繁出现厌世想法或有自杀、自残等行为；⑦ 睡眠障碍，如入睡困难、多梦、嗜睡等；⑧ 食欲降低或体质量明显减轻。

1.1.2 纳入标准 ① 年龄18～80岁；② 汉密尔顿抑郁量表-17（Hamilton Depression Rating Scale-17，HAMD-17）评分＞7分[10-11]；③ 病程≥2周；④ 运动强度达到次极量运动强度；⑤ 无脑器质性或功能性疾病及其他神经系统疾病；⑥ 患者及家属知情同意。

1.1.3 排除标准 ① 试验数据缺失；② 服用β受体阻滞剂等影响心率的药物；③ 合并可能影响试验结果的疾病，包括肺部、外周血管、神经肌肉、血液系统、心脏系统等疾病。

1.2 一般资料

回顾性选取2020年1月—2024年1月在南京医科大学附属脑科医院康复医学科行心肺运动检查的48例受试者为研究对象。其中，抑郁症患者25例纳入病例组，既往无焦虑、抑郁等心理疾病且HAMD-17≤7分者23例纳入对照组。2组年龄和身体质量指数（body mass index，BMI）比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）；性别分布比较，差异具有统计学意义（$P<0.05$）。本研究为回顾性研究，研究方案已通过南京医科大学附属脑科医院医学伦理委员会审批（审批号：2024-KY005-01快）。

表1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between two groups

组别	例数	性别		年龄/[($\bar{x}\pm s$)，岁]	BMI/[($\bar{x}\pm s$)，kg/cm^2]
		男	女		
对照组	23	14	9	46.65±13.79	23.78±2.79
病例组	25	5	20	49.80±10.71	22.87±3.19

1.3 暴露资料收集

1.3.1 抑郁状态评估 为评估患者的抑郁情绪状态，所有受试者于心肺运动试验前1周接受HAMD-17量表评估。该量表具有良好的信度与效度，评分越高表明抑郁程度越严重[10-11]。

1.3.2 心肺运动试验 由经过系统培训的专业人员使用Oxycon-Mobile运动踏车试验仪器（德国Masterscreen公司，型号：masterscreen-cpx）进行心肺运动试验。采用Labtech便携式心率监测仪实时监测运动过程中的心电信号，并将其转换为数字信号。具体步骤如下：① 检测当天，受试者避免服用咖啡、浓茶等可能影响检查结果的食物或药物；② 受试者到达检查室后静坐休息5 min；③ 佩戴呼吸面罩和心率带，继续静坐，在自然放松状态下采集静息期心电数据（每分钟记录）；④ 受试者通过踏车进行次极量运动试验；⑤ 运动结束后，受试者继续静坐并保持自然呼吸5 min，采集恢复期（运动后每分钟）心电数据。

考虑到次极量运动强度安全性较高且适用于多数人群，本研究采用次极量运动强度。具体步骤如下：运动测试开始后，受试者先以55～65 r/min的速度热身3 min，之后每分钟增加10～25 W阻力，并保持踏车速度直至检查结束。运动结束后采用Borg主观疲劳感觉量表（Borg Rating of Perceived Exertion）评估患者疲劳程度[12]。次极量运动强度的判断标准如下：① Borg量表≥17分；② 达到预计最大心率的90%[预计最大心率＝220－年龄]，或出现心率平台（相隔1 min心率变化≤4次）；③ 出现摄氧量（volume of oxygen，VO_2）平台（即$\Delta VO_2<2.1$ mL/kg·min）；④ 最大呼吸交换比（respiratory exchange ratio，RER）＞1.10。满足上述4条标准中的至少3条即可认定达到次极量运动[13]。出现以下任一情况时终止运动：① 达到目标心率；② 出现中度或重度心绞痛；③ 出现眩晕、昏厥等中枢神经系统症状；④ ST段缺血型压低或抬高≥0.2 mV；⑤ 收缩压下降＞10 mmHg（1 mmHg≈0.133 kPa）且伴有其他缺血表现；⑥ 持续性室性心动过速；⑦ 患者要求终止运动。

1.4 结局资料收集

1.4.1 HRV指标 采集运动前5 min和运动后恢复期5 min的窦性心律RR间期数据。HRV指标采用相邻RR间期差值的均方根（root mean square of successive differences，RMSSD）以评估副交感神经张力，其值与副交感神经活性呈正相关[14]。为了减少个体差异的影响，采用运动恢复期与静息期的RMSSD差值来进行数据分析。

1.4.2 HRR指标 记录运动结束时即刻（HRpeak）及恢复期第1、2、3分钟（HR1、HR2、HR3）的心率。恢复期第1、2、3分钟的心率恢复（HRR1、HRR2、HRR3）分别定义为HRpeak与HR1、HR2、HR3差值的绝对值。

1.5 统计学方法

采用GraphPad Prism 8.0软件进行数据处理与

分析。计量资料采用Shapiro-Wilk检验正态性，符合正态分布者($\bar{x}\pm s$)表示，不符合正态分布者以[$M(P_{25},P_{75})$]表示。2组间比较时，符合正态分布的数据采用两样本t检验，不符合正态分布的数据采用Mann-Whitney U检验。将2组数据合并，采用单因素线性回归分析HAMD-17评分与运动后自主神经功能指标的关系，并绘制散点图；进一步采用多因素线性回归分析，在校正性别、年龄以及BMI等混杂因素后，评估HAMD-17评分与运动后自主神经功能的独立影响。

2 结 果

2.1 2组HAMD-17评分比较

病例组HAMD-17评分为21.33(18.50,26.50)，显著高于对照组的2.00(1.00,4.00)，差异具有统计学意义($P<0.05$)。

2.2 2组次极量运动后HRV和HRR指标比较

与对照组比较，病例组运动后RMSSD和HRR1、HRR2、HRR3均较低，差异均具有统计学意义($P<0.05$)。见表2。

表2 2组次极量运动后HRV和HRR指标比较

Table 2 Comparison of HRV and HRR between two groups after submaximal exercise

组别	例数	RMSSD/[$M(P_{25},P_{75})$,ms]	HRR1/[($\bar{x}\pm s$),次]	HRR2/[($\bar{x}\pm s$),次]	HRR3/[$M(P_{25},P_{75})$,次]
对照组	25	21.33(9.33,30.17)	26.17±1.82	39.70±2.16	47.00(41.50,53.00)
病例组	23	4.67(3.33,5.67)[1)]	20.44±1.39[1)]	31.28±1.46[1)]	37.00(31.00,48.00)[1)]

注：与对照组比较，1) $P<0.05$。

Note: compared with the control group, 1) $P<0.05$.

2.3 相关性分析结果

将2组数据合并，以RMSSD、HRR1、HRR2、HRR3为因变量，HAMD-17评分为自变量，采用单因素线性回归分析HAMD-17评分对运动后自主神经功能的影响。结果显示HAMD-17评分是影响次极量运动后HRV和HRR指标的因素，且与RMSSD、HRR1、HRR2、HRR3均呈负相关($P<0.05$)。见表3和图1。

表3 HAMD-17评分与次极量运动后HRV和HRR指标的单因素线性回归分析

Table 3 Univariate linear regression analysis of HAMD-17 score with HRV and HRR indicators after submaximal exercise

变量	β	标准误	β(95% CI)	t	P
RMSSD	-0.67	0.14	-0.67(-0.96,-0.38)	-4.67	<0.01
HRR1	-0.27	0.11	-0.27(-0.48,-0.06)	-2.54	0.01
HRR2	-0.41	0.12	-0.41(-0.65,-0.17)	-3.46	0.01
HRR3	-0.35	0.14	-0.35(-0.64,-0.06)	-2.45	0.02

注：β为回归系数，$\beta<0$表示负相关，β绝对值越大相关性越大；95% CI不包含0且$P<0.05$表示差异有统计学意义。

Note: β is the regression coefficient; $\beta<0$ indicates a negative correlation, and the greater the absolute value of β, the stronger the correlation; a 95% CI that does not contain 0 and a $P<0.05$ indicate statistical significance.

采用多因素线性回归分析进一步评估HAMD-17评分对运动后自主神经功能的影响。模型1中未校正混杂因素，模型2校正了性别、年龄及BMI。结果显示，在校正混杂因素后，HAMD-17评分仍是影响运动后HRV和HRR指标的独立因素($P<0.05$)。见表4。

3 讨 论

3.1 抑郁对HRV的影响

运动过程中，为使心血管系统更好地适应运动负荷，交感神经和副交感神经对心脏进行复杂调节：运动阶段副交感神经活性降低、交感神经活性升高，恢复阶段则相反[15-16]。因此，与静息状态相比，运动中以及运动后自主神经变化能够提供更多关于心血管功能的信息。HRV是逐次心搏间的细微差异，是自主神经功能变化的敏感指标，可用于定量评估心脏交感与副交感神经张力及其平衡状态，并被认为是预测疾病预后的良好指标[17-18]。正常生理状态下，自主神经通过复杂的交互作用协调和调节心脏功能[19]。当疾病打破自主神经平衡时，HRV随之改变，这是HRV的生理学基础[20-22]。HRV分析方法多种多样，主要包括时域指标和频域分析[23]。其中，反映副交感神经活性的指标主要有RMSSD和高频功率[24]。研究表明，RMSSD指标在反映副交感神经变化方面更具代表性和稳定性[4]，故本研究选取RMSSD作为观察指标。结果显示，与

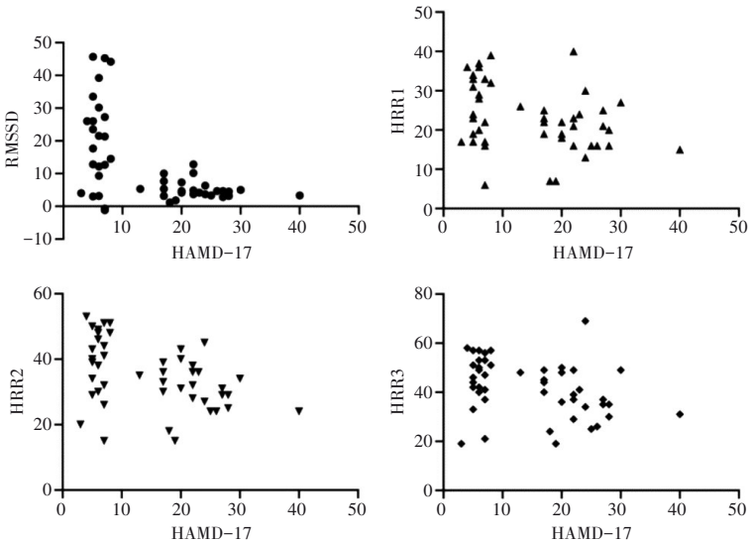


图1　HAMD-17评分与次极量运动后HRV和HRR指标相关性散点图

Figure 1　Scatter plot of the correlation between HAMD-17 score and HRV and HRR indicators after submaximal exercise

表4　HAMD-17评分与次极量运动后HRV和HRR指标的多因素回归分析

Table 4　Multivariate regression analysis of HAMD-17 score and HRV and HRR indicators after submaximal exercise

变量	模型1		模型2	
	β(95% *CI*)	*P*	β(95% *CI*)	*P*
RMSSD	−0.67(−0.96,−0.38)	0.01	−0.57(−0.99,−0.37)	<0.01
HRR1	−0.27(−0.48,−0.06)	0.01	−0.30(−0.43,−0.03)	0.02
HRR2	−0.41(−0.65,−0.17)	0.02	−0.44(−0.64,−0.16)	<0.01
HRR3	−0.35(−0.64,−0.06)	<0.01	−0.35(−0.66,−0.06)	0.02

注:β为回归系数,β<0表示负相关,β绝对值越大相关性越大;95% *CI*不包含0且*P*<0.05表示差异有统计学意义。

Note: β is the regression coefficient; β<0 indicates a negative correlation, and the greater the absolute value of β, the stronger the correlation; a 95% *CI* that does not contain 0 and a *P*<0.05 indicate statistical significance.

对照组比较,病例组次极量运动后RMSSD显著降低,提示抑郁患者运动后副交感神经活性降低。

既往研究已认识到抑郁症对心脏自主神经的负面影响,但较少关注运动后心脏自主神经恢复的变化。2009年,VON等[25]探讨了抑郁与运动后自主神经恢复的关联,但未发现阳性结果,可能与仅采用HRR作为单一指标有关。与上述研究不同,本研究收集并分析了无心血管疾病的抑郁患者和健康对照者次极量运动后的HRV数据,发现抑郁患者运动后副交感神经活性降低。进一步相关性分析显示,HAMD-17评分与次极量运动后RMSSD呈负相关,即抑郁程度越重,RMSSD越低。SANTANA等[26]的研究结论与本文类似,亦发现焦虑、抑郁程度越严重,次极量运动后HRR及RMSSD恢复越慢。运动后副交感神经活性降低,自主神经恢复延迟,会导致心率、心肌负荷及心肌耗氧长时间维持在高水平,从而增加运动后心肌缺血、晕厥等突发事件的风险[27]。

3.2　抑郁对HRR的影响

运动后HRR是评估心脏自主神经功能的另一常用指标[28-29]。早期研究将运动后HRR和HRV均作为副交感神经活动的可靠指标[30]。然而,MICHAEL等[15]发现HRR和HRV恢复并不同步。因此,部分学者将运动后心脏副交感神经活动细分为"副交感神经再激活"和"副交感神经调节"2种类型,认为运动后心率的迅速恢复主要受副交感神经再激活影响[15,31]。基于此,本研究同时收集了HRV和HRR数据,以综合评估次极量运动后副交感活性的变化。结果显示,抑郁组运动后HRR1、HRR2、HRR3均低于对照组,且各指标与HAMD-17评分呈负相关,进一步揭示了抑郁情绪对运动后心脏副交感神经活性的不良影响。其潜在机制可能涉及2个方面:① 长期抑郁情绪可削弱脑内中央自主神经网络的整合功能,干扰孤束核释放γ-氨基丁酸(γ-

aminobutyric acid，GABA）对自主神经系统的调控[32]；② 抑郁可导致下丘脑-垂体-肾上腺轴过度激活，促进儿茶酚胺过量释放，最终导致交感-副交感神经失衡[33]。

3.3 本研究局限性

首先，病例组女性占比偏高，而静息状态下不同性别人群的HRV存在差异[34]。尽管本研究通过矫正混杂因素及采用运动前后RMSSD差值来消除基线影响，但是仍无法完全排除偏倚。其次，本研究仅采用RMSSD作为HRV指标，仅反映副交感神经变化，未能全面深入地评估心血管自主神经功能。最后，本研究为回顾性设计，无法追踪患者抑郁病程及抗抑郁药物种类，难以确定药物以及病程对结果的影响程度。未来仍需更大样本、更长时间的随访，以明确性别、抑郁药物类型等变量对运动后自主神经变化的影响，并验证运动后HRV作为心血管疾病风险评估指标的效度及信度。

4 小 结

综上所述，本研究发现HAMD-17评分与次极量运动后HRV和HRR指标呈负相关，即抑郁程度越重，运动后自主神经功能恢复越慢，提示抑郁可降低运动后副交感神经活性，导致交感-副交感神经失衡。这一发现为临床评估抑郁患者心血管功能提供了新的思路，也为抑郁症患者心血管风险分层及个体化康复方案制定提供了参考依据。

参考文献

[1] FERRARI A J，SANTOMAURO D F，AALI A，et al. Global incidence，prevalence，years lived with disability (YLDs)，disability-adjusted life-years (DALYs)，and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations，1990-2021：a systematic analysis for the global burden of disease study 2021 [J]. Lancet，2024，403(10440)：2133-2161.

[2] OLSEN S J，SCHIRMER H，WILSGAARD T，et al. Cardiac rehabilitation and symptoms of anxiety and depression after percutaneous coronary intervention [J]. Eur J Prev Cardiol，2018，25(10)：1017-1025.

[3] 关啟亮，伍倬莹，彭红军，等. 青年抑郁症患者心理健康状况与自主神经功能的关系[J]. 广东医学，2021，42(6)：691-695.
GUAN Q L，WU Z Y，PENG H J，et al. Correlation between mental health status and autonomic nervous function in young depression patients [J]. Guangdong Med J，2021，42(6)：691-695.

[4] JARCZOK M N，KOENIG J，WITTLING A，et al. First evaluation of an index of low vagally-mediated heart rate variability as a marker of health risks in human adults：proof of concept [J]. J Clin Med，2019，8(11)：1940.

[5] LIMA B B，HAMMADAH M，KIM J H，et al. Association of transient endothelial dysfunction induced by mental stress with major adverse cardiovascular events in men and women with coronary artery disease [J]. JAMA Cardiol，2019，4(10)：988.

[6] DE ANDRADE P E，ZANGIROLAMI-RAIMUNDO J，MORAIS T C，et al. Cardiac behavior and heart rate variability in elderly hypertensive individuals during aerobic exercise：a non-randomized controlled study [J]. Int J Environ Res Public Health，2023，20(2)：1292.

[7] MANRESA-ROCAMORA A，RIBEIRO F，SARABIA J M，et al. Exercise-based cardiac rehabilitation and parasympathetic function in patients with coronary artery disease：a systematic review and meta-analysis [J]. Clin Auton Res，2021，31(2)：187-203.

[8] 中华医学会精神病学分会. 中国精神障碍分类与诊断标准第三版（精神障碍分类）[J]. 中华精神科杂志，2001，34(3)：126-127.
Psychiatry Branch of Chinese Medical Association. Classification and diagnostic criteria of mental disorders in China，third edition (classification of mental disorders) [J]. Chin J Psychiatry，2001，34(3)：126-127.

[9] 世界卫生组织. 疾病和有关健康问题的国际统计分类[M]. 北京：人民卫生出版社，1998：82-90.
World Health Organization. International statistical classification of diseases and related health problems [M]. Beijing：People's Medical Publishing House，1998：82-90.

[10] HAMILTON M. A rating scale for depression [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry，1960，23(1)：56-62.

[11] MÜLLER M J，DRAGICEVIC A. Standardized rater training for the Hamilton Depression Rating Scale (HAMD-17) in psychiatric novices [J]. J Affect Disord，2003，77(1)：65-69.

[12] BORG G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress [J]. Scand J Rehabil Med，1970，2(2)：92-98.

[13] HOWLEY E T，BASSETT D R，WELCH H G. Criteria for maximal oxygen uptake：review and commentary [J]. Med Sci Phys Exerc，1995，27(9)：1292-1301.

[14] 王优，欣怡，赵久波，等. 抑郁症心率变异性研究进展[J]. 中国神经精神疾病杂志，2017，43(10)：634-637.
WANG Y，XIN Y，ZHAO J B，et al. Research progress of heart rate variability in depression [J]. Chin J Nerv Ment Dis，2017，43(10)：634-637.

[15] MICHAEL S，GRAHAM K S，DAVIS G M. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals：a review [J]. Front Physiol，2017，8：301.

[16] FORNASIERO A，ZIGNOLI A，RAKOBOWCHUK M，et al. Post-exercise cardiac autonomic and cardiovascular responses to heart rate-matched and work rate-matched hypoxic exercise [J]. Eur J Appl Physiol，2021，121(7)：2061-2076.

[17] FANG S C, WU Y L, TSAI P S. Heart rate variability and risk of all-cause death and cardiovascular events in patients with cardiovascular disease: a meta-analysis of cohort studies [J]. Biol Res Nurs, 2020, 22(1): 45-56.

[18] CHEN Y F, YU Y J, ZOU W S, et al. Association between cardiac autonomic nervous dysfunction and the severity of coronary lesions in patients with stable coronary artery disease [J]. J Int Med Res, 2018, 46(9): 3729-3740.

[19] FORTE G, FAVIERI F, CASAGRANDE M. Heart rate variability and cognitive function: a systematic review [J]. Front Neurosci, 2019, 13: 710.

[20] ISHAQUE S, KHAN N, KRISHNAN S. Trends in heart-rate variability signal analysis [J]. Front Digit Health, 2021, 3: 639444.

[21] ZEKIOS K C, MOUCHTOURI E T, LEKKAS P, et al. Sympathetic activation and arrhythmogenesis after myocardial infarction: where do we stand? [J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2021, 8(5): 57.

[22] 袁钰淇，麻莉娜，苏永龙，等. 肥胖合并重度阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者的心率变异性分析[J]. 西安交通大学学报(医学版)，2024，45(5)：757-762.
YUAN Y Q, MA L N, SU Y L, et al. Heart rate variability in obese patients with severe obstructive sleep apnea hypopnea syndrome [J]. J Xi'an Jiaotong Univ Med Sci, 2024, 45(5): 757-762.

[23] 胡志成，姚焰. 心率变异性的历史沿革与研究进展[J]. 实用心电学杂志，2023，32(5)：355-359.
HU Z C, YAO Y. History and research progress of heart rate variability [J]. J Pract Electrocardiol, 2023, 32(5): 355-359.

[24] 尹鹏帆，张宾. 心率变异性临床研究现状及应用进展[J]. 中国综合临床，2023，39(1)：75-80.
YIN P F, ZHANG B. Clinical research status and application progress of heart rate variability [J]. Clin Med China, 2023, 39(1): 75-80.

[25] VON KÄNEL R, SANER H, KOHLS S, et al. Relation of heart rate recovery to psychological distress and quality of life in patients with chronic heart failure [J]. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil, 2009, 16(6): 645-650.

[26] SANTANA M D R, GARNER D M, DE MORAES Y M, et al. Association between hospital anxiety depression scale and autonomic recovery following exercise [J]. J Clin Psychol Med Settings, 2020, 27(2): 295-304.

[27] ROMERO S A, MINSON C T, HALLIWILL J R. The cardiovascular system after exercise [J]. J Appl Physiol, 2017, 122(4): 925-932.

[28] 刘小群，黄峰. 运动后心率恢复的临床意义[J]. 中华高血压杂志，2021，29(5)：413-419.
LIU X Q, HUANG F. Clinical significance of heart rate recovery after exercise [J]. Chin J Hypertens, 2021, 29(5): 413-419.

[29] 黄静涵，丁岩，樊晓寒. 心脏自主神经功能的无创检测[J]. 临床心电学杂志，2023，32(5)：321-328.
HUANG J H, DING Y, FAN X H. Noninvasive detection of cardiac autonomic nerve function [J]. J Clin Electrocardiol, 2023, 32(5): 321-328.

[30] PIERPONT G L, STOLPMAN D R, GORNICK C C. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity [J]. J Auton Nerv Syst, 2000, 80(3): 169-174.

[31] PEÇANHA T, PAULA-RIBEIRO M, CAMPANA-REZENDE E, et al. Water intake accelerates parasympathetic reactivation after high-intensity exercise [J]. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2014, 24(5): 489-496.

[32] VILLARREAL M F, WAINSZTEIN A E, MERCÈ R Á, et al. Distinct neural processing of acute stress in major depression and borderline personality disorder [J]. J Affect Disord, 2021, 286: 123-133.

[33] FAN Z X, CHEN J, LI L, et al. Environmental enrichment modulates HPA axis reprogramming in adult male rats exposed to early adolescent stress [J]. Neurosci Res, 2021, 172: 63-72.

[34] KOENIG J, THAYER J F. Sex differences in healthy human heart rate variability: a meta-analysis [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2016, 64: 288-310.

Effects of Depression on Heart Rate Variability and Heart Rate Recovery after Submaximal Exercise

WANG Lulu, LI Danhui, CHENG Xinxin, LIU Li, YOU Li*
The Affiliated Brain Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210029, China
*Correspondence: YOU Li, E-mail: youli1978@163.com

ABSTRACT **Objective** To investigate the effects of depression on heart rate variability (HRV) and heart rate recovery (HRR) after submaximal exercise. **Methods** A total of 48 participants who underwent cardiopulmonary exercise testing at the Department of Rehabilitation Medicine, the Affiliated Brain Hospital of Nanjing Medical University from January 2020 to January 2024 were retrospectively enrolled. Among them, 25 patients diagnosed with major depressive disorder were assigned to the case group, and 23 individuals without prior history of anxiety, depression, or other psychiatric disorders and with Hamilton Depression Rating Scale-17 (HAMD-17) score ≤7 were assigned to the control group. Both groups performed submaximal cycle ergometer exercise tests. Post-exercise HRV, measured as the root mean square of successive differences (RMSSD), and HRR indices at the 1st, 2nd, and 3rd minutes of recovery (HRR1, HRR2, HRR3) were collected and compared between the two groups. Data from both groups were combined, and univariate and multivariate linear regression analyses (adjusted for sex, age, and body mass index) were performed to assess

（下转第666页）