

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2019.07.0788

· 综述 ·

## 运动对心房颤动患者影响的研究进展

张 鹏, 王苏豫, 杨 洁, 王志农\*

海军军医大学(第二军医大学)长征医院胸心外科, 上海 200003

**[摘要]** 心房颤动是临床上常见的心律失常之一。近年来, 心房颤动的发病率居高不下, 严重影响患者的生活质量。导致心房颤动的因素很多, 其中运动与心房颤动的发生和进展关系密切, 运动是否会增加心房颤动发生的风险, 如何制定科学有效的运动方案, 逐渐成为临床研究的热点。本文归纳总结了近年来运动与心房颤动关系的最新研究进展, 系统阐述了运动影响心房颤动的生理基础, 客观评价了目前制定运动方案的局限性。

**[关键词]** 心房颤动; 运动; 危险因素; 生理学

**[中图分类号]** R 541.75 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2019)07-0788-05

### Effect of exercise on patients with atrial fibrillation: recent progress

ZHANG Peng, WANG Su-yu, YANG Jie, WANG Zhi-nong\*

Department of Cardiothoracic Surgery, Changzheng Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

**[Abstract]** Atrial fibrillation is one of the most common arrhythmias in clinic. The incidence of atrial fibrillation remains high in recent years, greatly affecting the quality of life of patients. Many factors may lead to atrial fibrillation, and exercise is closely related to the development and progression of atrial fibrillation. Whether exercise can increase the risk of atrial fibrillation and how to formulate a scientific and effective exercise program have now become focuses of clinical research. This review summarizes the latest research progress on the relationship between exercise and atrial fibrillation, systematically expounds the physiological basis of exercise in atrial fibrillation, and objectively evaluates the limitations of the current exercise program.

**[Key words]** atrial fibrillation; exercise; risk factors; physiology

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2019, 40(7): 788-792]

心房颤动是临床上常见的心律失常之一。既往研究表明, 心房颤动不仅会降低患者的生活质量, 而且会显著增加脑卒中、心肌梗死、心力衰竭等发病率<sup>[1]</sup>。心房颤动的危险因素较多, 如高血压、糖尿病、酗酒、吸烟等均可增加心房颤动发生的风险<sup>[2]</sup>。研究表明, 适当的、规律的体育锻炼不仅能够有效预防心房颤动的发生, 而且能够降低心房颤动患者并发症的发生风险<sup>[3]</sup>。在心脏康复医学领域中, 运动已经被证实对心房颤动患者有较大的益处, 并且作为初级和中级的心血管疾病预防因子被广泛推荐<sup>[4]</sup>。但有研究证实, 从事耐力项目的运动员具有很高的心房颤动流行趋势<sup>[5]</sup>。目前也无适

用于心房颤动患者的体育锻炼及运动的指南。本文通过回顾心房颤动与体育锻炼及运动相关研究的最新进展, 探讨何种强度的体育锻炼及运动建议能够有效降低心房颤动发生的风险。

### 1 运动对心房颤动的影响

1.1 低-中强度运动对心房颤动的影响 瑞典卡罗林斯卡医学院 Drca 等<sup>[6]</sup>完成的一项研究评估了不同年龄阶段成人进行不同强度体力运动对心房颤动患病的影响, 该研究的体力运动信息来源于 44 410 名无心房颤动、年龄为 45~79 岁(平均 60 岁)的男性, 他们均在 1997 年完成了基线自我管理

[收稿日期] 2019-05-14 [接受日期] 2019-06-26

[基金项目] 上海市科学技术委员会西医引导项目(15411960100)。Supported by Project of Western Medicine Guidance of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (15411960100)。

[作者简介] 张 鹏, 硕士生。E-mail: zhangp94@126.com

\*通信作者(Corresponding author)。Tel: 021-81885901, E-mail: wangzn007@smmu.edu.cn

问卷, 该问卷包含业余时间运动、走路、骑自行车等信息 (15岁、30岁、50岁和基线水平的信息)。研究结果表明, 所有研究对象在平均12年随访过程中共发生了4 568次心房颤动; 每周运动少于1h的男性心房颤动的发病风险较高 [相对危险度 (relative risk, *RR*) 为1.49, 95% 置信区间 (confidence interval, *CI*) 为1.14~1.95]; 平时步行/骑自行车 (每天大于1h) 与发生心房颤动风险呈负相关 ( $RR=0.87$ , 95% *CI*: 0.77~0.97); 低-中强度运动 (如骑自行车、散步等) 可以显著降低老年人心房颤动的发病率 ( $RR=0.87$ , 95% *CI*: 0.77~0.97), 但对青年、中年人心房颤动发生风险的影响较小。Mozaffarian 等<sup>[7]</sup>开展的一项纳入5 546名老年健康人群的长期前瞻性研究发现, 在长达13年的随访期内, 新发心房颤动患者共1 061例; 多因素 logistic 回归分析表明, 长期坚持低-中强度体育锻炼的人群较长期缺乏体育锻炼的人群心房颤动发病率更低 ( $RR=0.72$ , 95% *CI*: 0.58~0.89)。同样, Everett 等<sup>[8]</sup>在一项对34 759名健康中年女性的长期随访研究中, 采用代谢当量 (metabolic equivalent, MET) 评分对运动强度进行分级, 证实了中强度的运动可以有效预防心房颤动的发生 ( $RR=0.86$ , 95% *CI*: 0.75~0.98)。

**1.2 高强度运动对心房颤动的影响** Andersen 等<sup>[9]</sup>针对滑雪运动员开展的一项队列研究表明, 高强度运动可能是心房颤动的独立危险因素。该研究选取参加瑞典国际滑雪节的52 775名滑雪运动员, 该赛事全程90 km, 并且90%以上的运动员年龄低于60岁, 赛前所有运动员均接受了健康筛查, 既往有心血管病史的运动员被排除在研究外。该研究结果表明, 与较慢完成全程比赛的运动员相比, 较快完成比赛的运动员具有更高的心房颤动发病率; 并且多次参加此比赛并完成全程比赛的运动员的心房颤动发病率是仅参加1次比赛并完成全程比赛的运动员的1.3倍; 然而, 该研究也证实了运动员较普通人群具有更少的心房颤动易感因素 (如肥胖、高血压、高血脂、心力衰竭等)。Karjalainen 等<sup>[10]</sup>的一项对262名坚持高强度运动的退伍军人的回顾性研究结果同样表明, 尽管从事高强度运动的人群与普通人群相比心房颤动的易感因素更少, 但其心房颤动发病率却更高。此外, Elosua 等<sup>[11]</sup>对51例孤立性心房颤动患者、109名健康人群进行病例对照

研究发现, 运动时间超过1 500 h的人群罹患孤立性心房颤动的风险更高 [比值比 (odds ratio, *OR*) = 2.87, 95% *CI*: 1.20~6.91]。

## 2 不同运动强度影响心房颤动的机制

**2.1 低-中强度运动与心房颤动的关系** 研究指出, 肥胖与心房颤动的进展密切相关, 心房颤动患者中有接近50%的肥胖患者, 提示体质量的改变可影响心房颤动的易感性<sup>[12]</sup>。在一项随机对照研究中, Abed 等<sup>[13]</sup>对150例体质量指数 (body mass index, BMI) >27 kg/m<sup>2</sup>的心房颤动患者进行了长达15个月的随访, 并将研究对象随机分为两组, 其中运动干预组接受低强度的运动计划, 即每周3次20 min的散步或骑自行车运动。结果表明, 与对照组相比, 运动干预组的患者体质量减轻更明显 ( $P<0.01$ ); 运动干预组心房颤动发作的严重程度、心房颤动症状负荷评分、心房颤动发作的次数均明显低于对照组 ( $P<0.01$ ); 运动干预组的心房颤动发作累计时间明显短于对照组 ( $P<0.01$ )。Seals 和 Chase<sup>[14]</sup>对11名45~68岁的健康男子进行中强度的有氧训练后发现, 运动组心率变异性及最大摄氧量均优于对照组 ( $P<0.01$ ), 并且运动组的静息心率较训练前明显降低 ( $P<0.01$ )。Brunetti 等<sup>[15]</sup>的一项 meta 分析显示, 低-中强度的运动能够显著降低健康人群的心房颤动发病率。以上结果表明, 低-中强度的运动可以有效降低体质量和静息心率, 改善自主神经失衡, 提高窦性节律的稳定性。

在运动影响心房颤动发生的分子机制中, 免疫调节机制发挥了重要作用。运动过程中, 由巨噬细胞产生的肿瘤坏死因子  $\alpha$  (tumor necrosis factor  $\alpha$ , TNF- $\alpha$ ) 作为炎症反应的启动因子, 是导致心肌细胞肥大、心肌组织重构的重要因素<sup>[16]</sup>。既往研究已证实, TNF- $\alpha$  能够特异性作用于 TNF- $\alpha$  受体, 诱导基质金属蛋白酶 (matrix metalloproteinase, MMP) 释放, 导致心肌胶原代谢异常, 刺激心肌间质增生, 进一步增强心肌纤维化的程度, 促进心房颤动的进展<sup>[17]</sup>。王晓琳等<sup>[18]</sup>在以自发性高血压大鼠为模型的研究中证实, 低强度的游泳运动能够通过降低 TNF- $\alpha$  等细胞因子的表达改善心肌重构。

**2.2 高强度运动与心房颤动的关系** 大量研究显

示,长时间的高强度运动可能促进心房颤动的发生,其发生机制可能与心房结构改变(心房体积增大、心肌纤维化)、副交感神经活动增加、对副交感神经刺激的心房反应增强等有关。此外,高强度的运动会刺激机体的氧化应激与炎症反应,加速心肌组织的结构重构与电重构,促进心房颤动的发生<sup>[19]</sup>。

**2.2.1 高强度运动增加自主神经张力** 为验证高强度运动可能导致心律失常发生增加, Benito 等<sup>[20]</sup>采用专用跑步机速率为 60 cm/s、运动时间为 60 min/24 h、持续 4~16 周的标准构建大鼠长期耐力强化运动模型,运动终止 2~8 周后处死运动组与对照组大鼠并进行解剖观察。结果显示,与对照组相比,接受长期耐力强化训练大鼠的心肌纤维化程度明显增加 ( $P<0.01$ ),并且其迷走神经张力异常增高。与上述研究相似,袁斗等<sup>[21]</sup>采用新西兰大耳白兔构建动物模型,将 24 只大耳白兔随机均等分为对照组、中强度运动组与高强度运动组。对照组不接受任何训练;中强度运动组与高强度运动组均采用特定的跑台,接受为期 12 周、每周 5 d、每天 1 h 的跑步训练,两组跑步速率分别为 0.25 m/s 和 0.5 m/s。研究结果显示,与对照组相比,接受中强度运动及高强度运动的大耳白兔均有更高的心房颤动发生率和更高的迷走神经张力 ( $P<0.01$ )。

Turagam 等<sup>[22]</sup>在一项对运动员心房颤动的研究中指出,长期从事高强度训练的运动员心房颤动发病率更高。对于长期从事剧烈体育运动项目的运动员,其交感神经兴奋会刺激机体产生大量儿茶酚胺类激素作用于心房肌细胞,使钾离子外流增强,复极化速度加快,动作电位时程减短,心房肌细胞的不应期缩短,触发和易化微折返,促进快速起搏冲动的发放,导致心房内折返<sup>[23]</sup>。尽管短时间进行高强度运动会使机体的交感神经兴奋,但长期的耐力运动会使副交感神经张力增加,缩短心房肌细胞的动作电位时程和不应期,增加心房肌细胞的自律性,从而导致心房颤动<sup>[24]</sup>。

**2.2.2 高强度运动增加炎症反应** Swanson<sup>[25]</sup>在一项对长期从事高强度运动训练且患有心房颤动的运动员的研究中证实,炎症介质在心房颤动进展的过程中发挥了重要作用,且炎症介质水平的升高与长期从事高强度运动具有相关性。Harada 等<sup>[26]</sup>研究表明,炎症反应可能既是心房颤动的病因,又是心房颤动的结果;并且炎症介质普遍存在于心房颤动病理改

变过程中。而既往大量研究已经证实,高强度运动能够显著提升体内炎症因子,如 C-反应蛋白、白细胞介素 6 (interleukin 6, IL-6) 及 TNF- $\alpha$  等的水平。Lee 等<sup>[27]</sup>在对某职业球队足球运动员长达一个赛季的观察研究中发现,高强度运动往往会造成不同程度的肌肉组织损伤,进而诱发一系列炎症反应,导致体内炎症因子水平升高。Pedersen<sup>[28]</sup>研究指出,运动后人体内血浆中炎症因子会迅速升高,IL-6 水平呈指数式增长,其增长速度和峰值与运动强度、运动持续时间具有相关性。而炎症反应、氧自由基及活性氧在心血管疾病的进展中扮演了重要角色。既往研究显示,活性氧能够激活核因子  $\kappa$ B 而诱导细胞表达 TNF- $\alpha$ <sup>[29]</sup>。这一过程主要依赖 p38-丝裂原活化蛋白激酶 (p38 mitogen-activated protein kinase, p38 MAPK) 信号转导通路。此外,活性氧的代谢异常会引起心肌细胞中含量最丰富的连接蛋白——缝隙连接蛋白 43 (connexin 43, Cx43) 表达异常,而 Cx43 的异常表达与心肌纤维化关系密切<sup>[30]</sup>。因此,高强度的运动和过度的体能训练能够通过促进体内氧自由基及活性氧的生成,加速炎症反应,诱导心房颤动的发生。

### 3 相关研究的局限性

目前,关于运动与心房颤动关系的研究还存在很多局限。首先,各项研究对于运动强度的评估不尽相同;其次,运动强度存在个体化差异;最后,心房颤动的危险因素较多,在对运动与心房颤动关系进行研究时很难规避其他危险因素的干扰,如个人因素(性别、年龄、BMI 等)、环境因素(饮食习惯、作息时间等)、疾病因素(代谢综合征、自主神经功能失调等)。

**3.1 运动强度的评估** 目前,运动强度的评估方式主要有 3 种,即物理负荷强度、主观负荷强度与生理负荷强度。物理负荷强度通过检测运动个体在单位时间内的做功量评估运动强度,是对绝对运动强度的评价,其作为较早的运动强度评估方法目前在运动领域仍被广泛应用。主观负荷强度由瑞典生理学家 Borg<sup>[31]</sup>提出,其创建的“主观运动等级量表”目前被广泛用于评价运动中个体的心理负荷,但由于检测指标依赖主观感受,评估的结果受个体差异影响较大。在医学领域中应用最为广泛的是生理负荷强度评估方法,其通过监测个体在运动过程中的心率、

乳酸浓度、最大摄氧量、无氧阈、呼吸频率等生理指标, 达到评估运动强度的目的。

**3.2 个体化差异** 尽管对于运动强度的评估方法正日趋标准化, 但人群中的个体化差异给运动强度的评估带来了困难。既往各项研究中, 在确保组间基线资料(年龄、性别、BMI等)具有可比性后, 不同人群身体素质的差异依然会对研究结果产生较大的影响。不同身体素质的人群对于同等强度的运动产生的生理反应不尽相同, 例如慢跑对于体弱者而言是一项中强度的体育运动, 而对于长期坚持体育锻炼者而言则属于低强度运动。因此, 在制定运动方案时, 研究者不能简单地将某一项运动方式定义为高或低强度运动, 而是在充分考虑个体化差异的基础上, 对特定人群制定个体化运动方案。

#### 4 小结和展望

尽管目前关于运动强度对心房颤动影响的研究不是很多, 且研究结果也不完全一致, 但从疾病预防角度, 我们更倾向于低-中强度的运动方案能够降低心房颤动的发生风险。大多数研究结果支持低-中强度运动方案带来的益处, 少数研究则不支持这种看法。Aizer等<sup>[32]</sup>研究显示, 对于年龄低于50岁的人群, 慢跑等有氧运动不仅不会降低心房颤动发生的风险, 反而促进了心房颤动的进展。Bosomworth<sup>[33]</sup>的研究甚至提出, 对于男性而言, 任何强度的运动都可以降低心房颤动发生的风险, 同时能够降低心血管不良事件的发病率及死亡率。我们认为导致目前研究结果不一致的矛盾主要集中于因运动强度评估标准尚未统一和运动过程中个体化差异对研究结果造成的影响。随着科学技术的发展, 运动强度的评估也在现有运动强度评估方法(生理负荷强度、物理负荷强度与主观负荷强度)的基础上得以进一步完善。成谢锋等<sup>[34]</sup>提出了一种新的人体运动评估方法, 通过监测并比较运动前后人体心电、心音信号的变化, 评价人体体质和判断运动强度。作为人体内重要的生理信号, 心电、心音信号包含了大量的生理、病理信息, 两者结合可以更好地反映心力储备情况。

运动强度与心房颤动的发生关系密切, 但运动对心房颤动影响的机制尚不完全明确。根据目前的研究结果, 我们认为低-中强度运动可以降低体质量和静息心率, 提高窦性节律的稳定性, 降低氧

化应激与炎症反应水平, 抑制心房颤动的发生; 高强度运动增加副交感神经活动, 刺激机体的氧化应激与炎症反应, 促进心房颤动的发生。有关运动对心房颤动影响分子机制的研究仍待进一步完善。

随着我国人口老龄化, 罹患心房颤动的人数也在逐年增加。作为一项指导心房颤动患者生活的方式, 运动对心房颤动患者的疾病进展发挥了十分重要的作用。目前, 国内开展的运动强度与心房颤动相关性的研究不多, 尽管也可以借鉴国外相关研究结果, 但人种不同导致的个体化差异对研究结果造成了不可忽视的影响。因此, 我们亟须开展相关研究, 为有效减缓心房颤动的进展、预防心房颤动相关并发症提供指导。

#### [参考文献]

- [1] KIRCHHOF P, BENUSSI S, KOTTECHA D, AHLSSON A, ATAR D, CASADEI B, et al. [2016 ESC guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS][J]. *Kardiol Pol*, 2016,74: 1359-1469.
- [2] SCHNABEL R B, YIN X, GONA P, LARSON M G, BEISER A S, MCMANUS D D, et al. 50 year trends in atrial fibrillation prevalence, incidence, risk factors, and mortality in the Framingham Heart Study: a cohort study[J]. *Lancet*, 2015, 386: 154-162.
- [3] GORENEK B, PELLICCIA A, BENJAMIN E J, BORIANI G, CRIJNS H J, FOGEL R I, et al. European Heart Rhythm Association (EHRA)/European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation (EACPR) position paper on how to prevent atrial fibrillation endorsed by the Heart Rhythm Society (HRS) and Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHRS)[J]. *Europace*, 2017, 19: 190-225.
- [4] BALADY G J, WILLIAMS M A, ADES P A, BITTNER V, COMOSS P, FOODY J M, et al. Core components of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, the Council on Clinical Cardiology; the Councils on Cardiovascular Nursing, Epidemiology and Prevention, and Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2007, 27: 121-129.
- [5] MYRSTAD M, AARØNÆS M, GRAFF-IVERSEN S, NYSTAD W, RANHOF A H. Does endurance exercise cause atrial fibrillation in women?[J]. *Int J Cardiol*, 2015, 184: 431-432.
- [6] DRCA N, WOLK A, JENSEN-URSTAD M, LARSSON S C. Atrial fibrillation is associated with different levels of physical activity levels at different ages in men[J]. *Heart*, 2014, 100: 1037-1042. doi: 10.1136/

- heartjnl-2013-305304.
- [7] MOZAFFARIAN D, FURBERG C D, PSATY B M, SISCOVICK D. Physical activity and incidence of atrial fibrillation in older adults: the cardiovascular health study[J]. *Circulation*, 2008, 118: 800-807.
- [8] EVERETT B M, CONEN D, BURING J E, MOORTHY M V, LEE I M, ALBERT C M. Physical activity and the risk of incident atrial fibrillation in women[J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2011, 4: 321-327.
- [9] ANDERSEN K, FARAHMAND B, AHLBOM A, HELD C, LJUNGHALL S, MICHAËLSSON K, et al. Risk of arrhythmias in 52 755 long-distance cross-country skiers: a cohort study[J]. *Eur Heart J*, 2013, 34: 3624-3631.
- [10] KARJALAINEN J, KUJALA U M, KAPRIO J, SARNA S, VIITASALO M. Lone atrial fibrillation in vigorously exercising middle aged men: case-control study[J]. *BMJ*, 1998, 316: 1784-1785.
- [11] ELOSUA R, ARQUER A, MONT L, SAMBOLA A, MOLINA L, GARCÍA-MORÁN E, et al. Sport practice and the risk of lone atrial fibrillation: a case-control study[J]. *Int J Cardiol*, 2006, 108: 332-337.
- [12] POUWELS S, TOPAL B, KNOOK M T, CELIK A, SUNDBOM M, RIBEIRO R, et al. Interaction of obesity and atrial fibrillation: an overview of pathophysiology and clinical management[J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2019, 17: 209-223.
- [13] ABED H S, WITTERT G A, LEONG D P, SHIRAZI M G, BAHRAMI B, MIDDELDORP M E, et al. Effect of weight reduction and cardiometabolic risk factor management on symptom burden and severity in patients with atrial fibrillation: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2013, 310: 2050-2060.
- [14] SEALS D R, CHASE P B. Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control[J]. *J Appl Physiol* (1985), 1989, 66: 1886-1895.
- [15] BRUNETTI N D, SANTORO F, CORREALE M, DE GENNARO L, CONTE G, DI BIASE M. Incidence of atrial fibrillation is associated with age and gender in subjects practicing physical exercise: a meta-analysis and meta-regression analysis[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 221: 1056-1060.
- [16] HANEFELD M, APPELT D, ENGELMANN K, SANDNER D, BORNSTEIN S R, GANZ X, et al. Serum and plasma levels of vascular endothelial growth factors in relation to quality of glucose control, biomarkers of inflammation, and diabetic nephropathy[J]. *Horm Metab Res*, 2016, 48: 529-534.
- [17] BROWER G L, GARDNER J D, FORMAN M F, MURRAY D B, VOLOSHENYUK T, LEVICK S P, et al. The relationship between myocardial extracellular matrix remodeling and ventricular function[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006, 30: 604-610.
- [18] 王晓林,王庸晋,荣书玲,马红彪. 低强度游泳运动对自发性高血压大鼠左心室重构的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2014, 36: 401-406.
- [19] MYRSTAD M, MALMO V, ULIMOEN S R, TVEIT A, LOENNECHEN J P. Exercise in individuals with atrial fibrillation[J]. *Clin Res Cardiol*, 2019, 108: 347-354.
- [20] BENITO B, GAY-JORDI G, SERRANO-MOLLAR A, GUASCH E, SHI Y, TARDIF J C, et al. Cardiac arrhythmogenic remodeling in a rat model of long-term intensive exercise training[J]. *Circulation*, 2011, 123: 13-22.
- [21] 袁斗,谭琛,姚建民,李丹,黄思慧,徐威. 运动性心房颤动兔模型的建立[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2015, 7: 94-96.
- [22] TURAGAM M K, VELAGAPUDI P, KOCHERIL A G. Atrial fibrillation in athletes[J]. *Am J Cardiol*, 2012, 109: 296-302.
- [23] FARHAT F, DUPAS J, AMÉRAND A, GOANVEC C, FERAY A, SIMON B, et al. Effect of exercise training on oxidative stress and mitochondrial function in rat heart and gastrocnemius muscle[J]. *Redox Rep*, 2015, 20: 60-68.
- [24] SANCHIS-GOMAR F, PEREZ-QUILIS C, LIPPI G, CERVELLIN G, LEISCHIK R, LÖLLGEN H, et al. Atrial fibrillation in highly trained endurance athletes—description of a syndrome[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 226: 11-20.
- [25] SWANSON D R. Atrial fibrillation in athletes: implicit literature-based connections suggest that overtraining and subsequent inflammation may be a contributory mechanism[J]. *Med Hypotheses*, 2006, 66: 1085-1092.
- [26] HARADA M, VAN WAGONER D R, NATTEL S. Role of inflammation in atrial fibrillation pathophysiology and management[J]. *Circ J*, 2015, 79: 495-502.
- [27] LEE J W Y, MOK K M, CHAN H C K, YUNG P S H, CHAN K M. A prospective epidemiological study of injury incidence and injury patterns in a Hong Kong male professional football league during the competitive season[J]. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*, 2014, 1: 119-125.
- [28] PEDERSEN B K. Muscle as a secretory organ[J]. *Compr Physiol*, 2013, 3: 1337-1362.
- [29] WRIGHT C J, AGBOKE F, MUTHU M, MICHAELIS K A, MUNDY M A, LA P, et al. Nuclear factor- $\kappa$ B (NF- $\kappa$ B) inhibitory protein I $\kappa$ B $\beta$  determines apoptotic cell death following exposure to oxidative stress[J]. *J Biol Chem*, 2012, 287: 6230-6239.
- [30] WANG Y, HILL J A. Electrophysiological remodeling in heart failure[J]. *J Mol Cell Cardiol*, 2010, 48: 619-632.
- [31] BORG G A. Psychophysical bases of perceived exertion[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1982, 14: 377-381.
- [32] AIZER A, GAZIANO J M, COOK N R, MANSON J E, BURING J E, ALBERT C M. Relation of vigorous exercise to risk of atrial fibrillation[J]. *Am J Cardiol*, 2009, 103: 1572-1577.
- [33] BOSOMWORTH N J. Atrial fibrillation and physical activity: should we exercise caution?[J]. *Can Fam Physician*, 2015, 61: 1061-1070.
- [34] 成谢锋,姜炜,刘子山. 一种新的人体运动强度检测方法的研究[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34: 1153-1159.