

本文引用: 胡红娟, 尹闰阁, 匡泽民, 等. 不同运动方式对高血压患者心肺功能的影响研究进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2023, 31(11): 989-994, 1006. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2023.11.009.

[文章编号] 1007-3949(2023)31-11-0989-07

· 文献综述 ·

## 不同运动方式对高血压患者心肺功能的影响研究进展

胡红娟<sup>1,2</sup>, 尹闰阁<sup>2</sup>, 匡泽民<sup>3</sup>, 刘宇凡<sup>4</sup>

(1. 南华大学附属第一医院, 2. 南华大学护理学院, 湖南省衡阳市 421001; 3. 首都医科大学附属北京安贞医院  
心内科高血压中心, 北京市 100029; 4. 湖南医药学院医学院, 湖南省怀化市 418000)

**[摘要]** 心肺功能是反应机体健康和心血管或全因死亡率的强有力指标, 运动则是高血压防治策略中重要的非药物治疗手段, 主要包括持续有氧运动、高强度间歇运动和抗阻运动。高血压患者通过不同运动方式不仅有利于降压, 还可有效改善心肺功能。该文就不同运动方式, 尤其是有氧运动对高血压患者心肺功能的影响进行综述, 期为高血压患者制定科学运动干预策略提供帮助。

**[关键词]** 高血压; 运动方式; 运动疗法; 心肺功能

**[中图分类号]** R5

**[文献标识码]** A

### Research progress on the effect of different exercise patterns on the cardiopulmonary function of patients with hypertension

HU Hongjuan<sup>1,2</sup>, YIN Guige<sup>2</sup>, KUANG Zemin<sup>3</sup>, LIU Yufan<sup>4</sup>

(1. First Affiliated Hospital of University of South China, 2. School of Nursing of University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 3. Hypertension Center of Cardiology Department of Beijing Anzhen Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100029, China; 4. School of Medicine, Hunan Medical College, Huaihua, Hunan 418000, China)

**[ABSTRACT]** Cardiopulmonary function is a powerful indicator of overall health and cardiovascular or all-cause mortality. Exercise is an important non-pharmacological treatment modality in the prevention and management of hypertension, primarily including continuous aerobic exercise, high-intensity interval training, and resistance exercise. Different exercise patterns not only contribute to blood pressure reduction in hypertensive patients, but also effectively improve cardiopulmonary function. This article provides a review of the impact of various exercise modalities, particularly aerobic exercise, on the cardiopulmonary function of hypertensive patients, aiming to offer assistance in formulating scientific exercise intervention strategies for individuals with hypertension.

**[KEY WORDS]** hypertension; exercise pattern; exercise therapy; cardiopulmonary function

高血压人数庞大且不断增长, 目前全球 30 ~ 79 岁高血压患者有 12.78 亿, 中国高血压患者达 2.45 亿<sup>[1-2]</sup>。全球高血压控制率低, 管理现状不容乐观, 每年 850 万人死于脑卒中、缺血性心脏病, 带来沉重的社会经济和医疗保健负担<sup>[1,3]</sup>。为了改变这一现状, 我国采取预防为主策略, 倡导健康生活方

式<sup>[2]</sup>。《中国高血压防治指南》强调生活方式干预贯穿高血压防治全程, 提倡每周进行 4 ~ 7 次中等强度有氧运动<sup>[4]</sup>。因此, 近年来高血压运动疗法受到广泛关注。运动锻炼可使心肺功能增加 3%, 高血压发病风险降低 11%<sup>[5]</sup>。

[收稿日期] 2023-06-05

[修回日期] 2023-07-03

[基金项目] 北京市自然科学基金面上专项(M22009); 湖南省科技厅科技创新计划课题(2020SK51810); 湖南省卫健委一般指导课题(202214015619)

[作者简介] 胡红娟, 博士, 副教授, 研究方向为高血压慢病管理, E-mail: huhongjuan1114@163.com。通信作者匡泽民, 博士, 主任医师, 研究方向为高血压的精准医学研究以及临床转化、心血管慢病的数字治疗、医学人工智能决策推理, E-mail: kzmkk@foxmail.com。

## 1 高血压运动疗法概述

运动疗法是高血压防治策略中重要的非药物治疗手段<sup>[3-4]</sup>。Naci 等<sup>[6]</sup>研究结果显示,所有类型的运动干预(如耐力训练、动态抗阻训练、等长肌力训练)都可有效降低收缩压。有氧运动可使收缩压降低 7.6 mmHg,舒张压降低 4.7 mmHg<sup>[3]</sup>。根据机体代谢方式不同,运动主要分为有氧运动和抗阻运动。有氧运动主要指大肌肉群的运动,包括持续有氧运动(moderate-intensity continuous training, MICT)和间歇有氧运动,后者改善机体心肺功能和代谢的效果更为显著。间歇运动根据运动强度、运动时间、间歇休息方式和时间的不同,进一步分为低运动量和高运动量间歇运动、高强度间歇运动(high intensity interval training, HIIT)和间歇冲刺运动,但通常指的是 HIIT<sup>[7]</sup>。不同运动方式有显著降压效果,同时可以通过提高心脏泵血和骨骼肌氧化来改善心肺功能,降低心血管疾病的发生和提高生存率<sup>[8]</sup>。

研究表明 HIIT 较 MICT 降压效果更显著,Meta 分析显示 HIIT 在降低中心动脉压和外周收缩压方面优于 MICT,其机制可能与 HIIT 更能抑制机体的内皮素分泌,改善内皮功能有关。此外,在 HIIT 运动过程中,机体更加缺血缺氧、剪切力增大,诱导一氧化氮合酶磷酸化,增加 NO 的分泌,从而促使血管扩张<sup>[9-10]</sup>。欧洲高血压学会建议抗阻运动作为治疗高血压的良好补充<sup>[11]</sup>,坚持每周 3 次的等长抗阻训练可降低收缩压 6~7 mmHg<sup>[12]</sup>。抗阻运动通过促进压力反射敏感性,改善机体的氧化还原平衡和炎症状态,直接或间接促进血管健康;其次,抗阻运动促进心血管自主调节能力,降低血压变异性,缓解外周血管交感活动,降低血管阻力<sup>[13]</sup>。有氧运动降压的机制包括:①减少内脏脂肪和脂肪细胞因子(例如:脂肪坏死因子、瘦素等,与炎症增加,血压升高有关)的分泌<sup>[14]</sup>;②增加胰岛素敏感性,降低高血糖和代偿性高胰岛素血症<sup>[15]</sup>;③调节肾素-血管紧张素-醛固酮系统,降低血浆肾素活性<sup>[16]</sup>;④改善血管结构,增加动脉管腔直径及骨骼肌毛细血管密度<sup>[17]</sup>;⑤改善内皮功能和动脉僵硬度,增加 NO 的生物利用度,运动增加剪切力促进 NO 和内皮生长因子的产生,促进小血管舒张<sup>[18]</sup>;⑥运动过程中机体分泌运动因子能发挥抗炎作用,降低促炎因子的循环水平,研究表明肌肉分泌的鸢尾素可直接降低血压<sup>[19]</sup>;⑦改善心血管自主神经系统功能,通过降低交感神经活性和增加迷走神经张力降压。

## 2 心肺功能概述

心肺功能定义为氧气从大气输送到线粒体进行工作的综合能力,可量化一个链接过程,即肺通气和扩散、心脏舒缩功能、脉管系统容纳和运氧功能、肌肉利氧功能,代表整体健康水平。心肺功能是评估运动耐受力客观指标,是高度量化、个体化的运动表现;相对于自我报告活动量方式,心肺功能评估更具科学性,也为高血压精准运动管理奠定基础<sup>[20]</sup>。美国心脏协会认定心肺功能为第五临床生命体征,不仅能预测个体发生心血管疾病风险,在预测心血管事件不良结局上也发挥重要作用<sup>[21]</sup>。峰值摄氧量(peak oxygen consumption,  $VO_{2peak}$ )/最大摄氧量(maximal oxygen uptake,  $VO_{2max}$ )、代谢当量(metabolic equivalent, MET)、通气阈(ventilatory threshold, VT)都是心肺功能的精确指标。其中, $VO_{2max}$ 是评价心肺功能最常用、最直接的指标,其定义为当机体进行长时间有大量肌肉群参加的剧烈运动、机体氧运输系统供能和肌肉利用氧的能力达到最高水平时,机体每分钟所摄取的氧量。决定  $VO_{2max}$  的主要因素包括心血管机能、肺通气、气体交换、骨骼肌特征、相关酶活性等。 $VO_{2max}$  的测试通常采用心肺运动试验,随着运动负荷逐渐增加和时间延长,通过气体代谢分析仪测定的摄氧量也上升,在某一级负荷中,心肺功能发挥最大水平时,摄氧量不再增加或趋于平稳,甚至下降,此时的摄氧量即为  $VO_{2max}$ <sup>[22]</sup>。MET 与  $VO_{2max}$  的换算公式:1 MET=3.5 mL/(kg·min)。

心肺功能与全因死亡率呈负相关,独立于传统的心血管病危险因素。一项大型前瞻性研究结果表明,心肺功能每增加 1 MET,男性死亡率可降低 11%~15%,女性死亡率降低 11%~16%<sup>[23]</sup>。最近研究表明,普通人群心肺功能每增加 1 MET,高血压患病风险降低 10%<sup>[24]</sup>。荟萃分析显示,心肺功能每增加 1 MET,心血管病和全因死亡风险分别降低 20% 和 22%<sup>[25]</sup>。因此,重视心肺功能在运动评估中的作用,对降低高血压患者心血管事件发生率、提高生活质量极其重要。但具体何种运动方式对高血压患者的心肺功能更为有益,尚未得出一致结论。本文主要综述了 MICT、HIIT 和抗阻运动对心肺功能的影响,为制定科学运动方案提供参考。

## 3 MICT 对心肺功能的影响

MICT 是指机体在氧气供应充足情况下,使储

存的能量主要通过有氧糖酵解进行代谢,一般运动强度为 40% ~ 69%  $VO_{2max}$ ,持续时间长,主要包括快走、慢跑、骑单车等<sup>[7]</sup>。MICT 提升心肺功能的机制主要通过两方面:①增加骨骼肌和心肌内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF),调控血管新生的关键分子,能促进毛细血管和阻力血管新生,增大组织灌注量,从而增加氧气供应;②线粒体合成能力的强弱对提高心肺耐力起着至关重要的作用,运动增加过氧化物酶体增殖物激活受体  $\gamma$  共激活因子 1 $\alpha$  (peroxisome proliferator-activated receptor  $\gamma$  coactivator-1 $\alpha$ , PGC-1 $\alpha$ ) 三种亚型(PGC-1 $\alpha$ -a、PGC-1 $\alpha$ -b 和 PGC-1 $\alpha$ -c)的 mRNA 表达,促进骨骼肌中线粒体生物合成,肌纤维类型向氧化型转化和血管再生,同时加速线粒体自噬,使衰老或质量不佳的线粒体降解,从而提高线粒体整体功能<sup>[26]</sup>。MICT 通过上述机制使高血压患者心肺功能提高,

研究人员也陆续将焦点着重于临床研究,为高血压运动管理提供临床证据。因此,MICT 不仅是高血压非药物治疗的有效途径,也可改善高血压患者的心肺功能。MICT 对高血压患者心肺功能的影响见表 1。

虽然 MICT 具备上述优势,但对血压正常者影响较小,其降压效果可能与运动频率和持续时间有关。运动形式多样,认知接受度高,患者可根据身体状况和个人偏好选择,普遍适用于高血压人群。MICT 无法适用于肢体功能障碍的高血压患者,此外,运动方式单调枯燥且达到运动疗效所需时间长,对工作压力大的中青年人群存在时间和精力条件限制,导致运动依从性不佳。因此,需根据不同年龄段高血压患者的偏好,制定省时高效、时间地点可变性大且融合趣味性特点的运动康复方案。

表 1. MICT 对高血压患者心肺功能的影响

Table 1. Effect of MICT on cardiopulmonary function in hypertensive patients

作者	研究对象	时间/ 周	频率/ (次/周)	运动时 长/min	强度	方式	心肺功能/[ mL/(kg · min) ]		
							干预前	干预后	P 值
Gorostegi-Anduaga 等 <sup>[27]</sup>	肥胖高血压患者	16	2	45	65% $VO_{2max}$	跑步/骑行	21.6	26.7	<0.001
Lopes 等 <sup>[28]</sup>	顽固性高血压患者	12	3	40	50% ~70% $VO_{2max}$	骑行/步行	34.8	39.5	<0.001
Ramos 等 <sup>[29]</sup>	老年高血压伴 肥胖患者	12	3	60	中等强度	跑步	27.3	36.1	0.08
Thompson 等 <sup>[30]</sup>	高血压伴 中重度肾病患者	24	3	30	40% ~59% 心率储备	跑步/骑行	17.0	18.9(第 8 周)	0.05
								18.8(第 24 周)	0.12
Wong 等 <sup>[31]</sup>	绝经期高血压妇女	20	3 ~4	40 ~45	70% ~75% $HR_{max}$	游泳	22	26	<0.05
Arboleda-Serna 等 <sup>[32]</sup>	血压正常者	8	3	40	65% ~75% $HR_{max}$	跑步	2.2	44.1	0.18

4 HIIT 对心肺功能的影响

HIIT 定义为负荷强度  $\geq$  无氧阈或者最大乳酸稳态,并在每两次训练间安排不足以充分恢复的静息或低强度训练方法。HIIT 通过增加心输出量,改善线粒体功能和肌肉利用率提高心肺功能,机制包括四个方面:①长期 HIIT 可通过激活心肌 IGF1-PI3K-Akt 信号通路,使心脏发生生理性肥厚,进而增强心脏功能和储备能力,心肌收缩能力增强,每搏输出量增大,增加机体供氧<sup>[33]</sup>;②HIIT 增加 AMP 活化蛋白激酶 (AMP-activated protein kinase, AMPK),直接磷酸化和激活 PGC-1 $\alpha$  三种亚型,促进线粒体合成,提高心肺功能<sup>[26]</sup>;③HIIT 致循环中

多种组织非编码 RNA (non-coding RNA, ncRNA) 的转运载体外泌体显著增加,参与代谢调节和心血管保护,促进骨骼肌代谢相关蛋白丝裂原激活蛋白激酶 (mitogen-activation protein kinase, MAPK) 及 PGC-1 $\alpha$  的表达增加,进而改善机体代谢,提高心肺功能<sup>[34]</sup>;④运动强度的增强导致血液中二氧化碳分压升高或 pH 值下降,诱导氧解离曲线左移,促进动脉血中的血红蛋白与氧气的低亲和力状态,提高骨骼肌氧利用率以满足肌肉对氧气的需求<sup>[35]</sup>。HIIT 给予机体多次重复刺激,相较 MICT 强度更大,因此 HIIT 在改善心肺功能上亦优于 MICT<sup>[36]</sup>。HIIT 对高血压患者心肺功能的影响见表 2。

既往 HIIT 广泛用于竞技体育训练和研究,近年



来其以省时、高效的优点进入慢性病运动康复领域的视野。但 HIIT 对血压与心肺功能的影响缺乏剂量-反应关系研究,需进一步研究适合高血压患者的 HIIT 的运动频率、强度、时间、间歇运动强度和间歇运动时间;若运动强度过大,超过身体的承受能力则会造成心源性猝死、急性心肌梗死和肾功能损伤。因此,建议身体综合状况较好的中青年和有运动基础的高血压患者,循序渐进进行 HIIT,并动态评估心血管功能;高龄、伴有心脑肾慢性疾病和遗传性、先天性心脏病的高血压患者,需谨慎行 HIIT。

表 2. 高强度间歇有氧运动对高血压患者有氧运动能力的影响  
Table 2. Effects of high-intensity intermittent aerobic exercise on aerobic exercise ability in hypertensive patients

作者	研究对象	时间/ 周	频率/ (次/周)	运动时长/min	强度	方式	心肺功能/ [ mL/( kg · min ) ]		
							干预前	干预后	P 值
Delgado-Floody 等 <sup>[37]</sup>	高血压伴肥胖患者	16	3	30 min;高强度运动 1 min,休息 2 min,重复 10 次	80%~100% 最大心率 极限运动; 被动恢复(休息期不踩踏)	骑行	—	+5.92	<0.001
Blackwell 等 <sup>[38]</sup>	高龄高血压伴其他疾病患者	4	3	16.5 min;热身 2 min,高强度运动 5 min,恢复期 1.5 min,重复 5 次后冷却运动 2 min	无负荷循环热身、 冷却运动; 100%~115% 最大负荷 高强度运动	骑行	21.3	23.7	0.009
Jurio-Iriarte 等 <sup>[39]</sup>	高血压伴肥胖患者	16	2	45 min;热身 5 min,高强度运动 4 min,恢复期 3 min,重复 4 次后冷却运动 1~4 min(跑步)或热身 10 min,高强度运动 0.5 min,恢复期 1 min,重复 18 次后冷却运动 5~10 min(单车)	76%~95% 心率储备 高强度运动, 50%~75% 心率储备 主动恢复期运动	跑步/ 骑行	25.1	29.3	<0.001
Ramos 等 <sup>[40]</sup>	代谢综合征患者	16	3	38 min;热身 10 min;高强度运动 4 min,恢复期 3 min,重复 4 次后冷却运动 3 min	85%~95% HR <sub>max</sub> 高强度运动; 50%~70% HR <sub>max</sub> 恢复期运动	跑步/ 骑行	23.1	25.9	<0.05
Boa 等 <sup>[41]</sup>	高血压伴认知减退患者	24	3	45 min;热身 5~10 min;高强度运动 4 min,恢复期 3 min,重复 4 次后冷却运动 5~10 min	80%~95% HR <sub>max</sub> 高强度运动; 40%~60% 主动恢复	骑行	8.6 METs	1.7 METs	<0.001
Cheema 等 <sup>[42]</sup>	高血压伴腹型肥胖患者	12	4	50 min;任意强度跳跃热身 5 min,高强度运动 2 min,恢复期 1 min,重复 15 次	>75% HR <sub>max</sub> 高强度运动; 恢复期简单站立或踱步	拳击	27.9	32.5	0.015

注:“—”表示数据未获得。

5 抗阻运动对心肺功能的影响

抗阻运动是在无氧酵解状态下进行的运动,是指身体克服阻力,通过肌肉收缩达到肌肉增长和力量增加的目的,分为等长收缩(肌肉的长度缩短或延长)和等距收缩(静态或肌肉长度不变)<sup>[7]</sup>。目前关于抗阻运动对高血压患者心肺功能的机制研究不足,可能与抗阻运动刺激心血管系统使肌肉收缩阻断血流,代谢产物形成酸性环境,促使肌肉增长、增加肌红蛋白浓度和心输出量有关;增加骨骼肌质量的总量,即瘦体质量,其与 VO<sub>2max</sub> 有密切关系<sup>[43]</sup>。目前研究集中于有氧运动或有氧联合抗阻运动对心肺功能的影响,极少有单一抗阻运动影响心肺功能的研究。Schroeder 等<sup>[44]</sup>研究表明,每周 3 次抗阻

训练无法改变高血压患者的心肺功能,而有氧运动组和有氧联合抗阻训练组分别使心肺功能改善 7.7、4.9 mL/(kg · min)。类似研究也表明,有氧联合抗阻运动使心肺功能提升 18.2%<sup>[45]</sup>。Seguro 等<sup>[46]</sup>对高血压伴糖尿病患者行每周 2~3 次 40 min 的抗阻运动,结果证实,抗阻运动可有效降低血压,提高心肺功能,改善整体健康水平。  
抗阻运动可改善机体整体功能、健康结局指标和骨骼肌质量,与心肺功能存在相关性<sup>[47]</sup>。建议高血压患者在有氧运动的基础上增加渐进性低中强度抗阻运动,但其降压和提高心肺功能的效果受到运动强度、重复组数和持续时间的影响,应鼓励患者保持规律的运动习惯,提高健康感知,运动前后自测血压了解自身状态,避免血压的大幅度升降。

此外,考虑抗阻运动实施条件简单易行,便于身体活动障碍的高血压患者进行低强度的等长握力运动。当然,抗阻运动影响高血压患者心肺功能的临床证据和机制研究相对缺乏,需进一步针对不同高血压人群进行深入研究。

## 6 存在的问题及展望

本文综述了 MICT、HIIT 和抗阻运动对高血压患者心肺功能的影响,发现省时高效的 HIIT 可改善高血压。但是随着运动强度的增加,心血管事件发生风险亦增加<sup>[34]</sup>。短时中高强度运动导致交感神经张力增高,儿茶酚胺增多引起急剧血压升高,促使心肌高耗氧,诱导已有病变的冠状动脉段发生缺血和痉挛,引发急性心肌梗死;HIIT 导致容量衰竭,肾脏滤过率减少,血肌酐和尿素氮升高,呈一过性的肾脏损伤。而长时间高强度运动引起冠状动脉钙化,舒张功能不全,心律失常及大动脉壁僵硬增加,增加心脏负荷,引起急性心肌梗死、主动脉夹层甚至猝死等。因此,对有心血管事件高风险的高血压人群(老年人、合并心血管疾病、2 型糖尿病或肾病、有早发冠心病或其他先天性心脏病家族史),不建议进行高强度运动。

综上,对于高血压患者高强度运动临床指导的安全性仍有争议;如何针对不同生理状态的高血压患者提供精准、个体化运动康复处方,需要进一步探索。医务人员应在评估高血压患者心血管病风险(心脏结构、冠状动脉供血、心律失常及心脏功能)前提下,针对不同特征高血压患者提供最适宜、最优的科学运动方案,以达到降低血压水平和提高心肺功能的目的。

### [参考文献]

[1] NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Worldwide trends in hypertension prevalence and progress in treatment and control from 1990 to 2019: a pooled analysis of 1201 population-representative studies with 104 million participants [J]. *Lancet*, 2021, 398 (10304): 957-980.

[2] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2021 概要[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(6): 553-578. Chinese Cardiovascular Health and Disease Report Writing Group. Report on cardiovascular health and diseases in China 2021: an updated summary[J]. *Chin Circ J*, 2022, 37(6): 553-578.

[3] HANSEN H, BOARDMAN H, DEISEROTH A, et al. Personalized exercise prescription in the prevention and treatment of arterial hypertension: a consensus document from the European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and the ESC Council on Hypertension

[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2022, 29(1): 205-215.

[4] 中国高血压防治指南修订委员会, 中国中华医学会心血管病学分会, 中国医师协会高血压专业委员会. 中国高血压防治指南(2018 年修订版)[J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(1): 24-56. Chinese Hypertension Prevention and Treatment Guidelines Revision Committee, Cardiovascular Disease Branch of Chinese Medical Association, Hypertension Professional Committee of Chinese Medical Doctor Association. Guidelines for the prevention and treatment of hypertension in China (2018 revised edition) [J]. *Chin J Cardiovasc Dis*, 2019, 24(1): 24-56.

[5] HOLMLUND T, EKBLOM B, BORJESSON M, et al. Association between change in cardiorespiratory fitness and incident hypertension in Swedish adults[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2021, 28(13): 1515-1522.

[6] NACI H, SALCHER-KONRAD M, DIAS S, et al. How does exercise treatment compare with antihypertensive medications? A network Meta-analysis of 391 randomised controlled trials assessing exercise and medication effects on systolic blood pressure [J]. *Br J Sports Med*, 2019, 53(14): 859-869.

[7] PELLICCIA A, SHARMA S, GATI S, et al. 2020 ESC guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(1): 17-96.

[8] ISLAM H, GIBALA M J, LITTLE J P. Exercise snacks: a novel strategy to improve cardiometabolic health[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2022, 50(1): 31-37.

[9] OLIVEIRA G H, OKAWA R, SIMOES C F, et al. Effects of high-intensity interval training on central blood pressure: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Arq Bras Cardiol*, 2023, 120(4): e20220398.

[10] LEAL J M, GALLIANO L M, DEL V F. Effectiveness of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training in hypertensive patients: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Curr Hypertens Rep*, 2020, 22(3): 26.

[11] WILLIAMS B, MANCIA G, SPIERING W, et al. 2018 ESC/ESH guidelines for the management of arterial hypertension [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(33): 3021-3104.

[12] SMART N A, GOW J, BLEILE B, et al. An evidence-based analysis of managing hypertension with isometric resistance exercise-are the guidelines current? [J]. *Hypertens Res*, 2020, 43(4): 249-254.

[13] SHIMOJO G L, DA S D D, MALFITANO C, et al. Combined aerobic and resistance exercise training improve hypertension associated with menopause[J]. *Front Physiol*, 2018, 9: 1471.

[14] HALL J E, DO C J, DA S A, et al. Obesity, kidney dysfunction and hypertension: mechanistic links[J]. *Nat Rev Nephrol*, 2019, 15(6): 367-385.

[15] SASAKI N, OZONO R, HIGASHI Y, et al. Association of insulin resistance, plasma glucose level, and serum insulin level with hypertension in a population with different stages of impaired glucose metabolism[J]. *J Am Heart Assoc*, 2020, 9(7): e15546.

[16] AZUSHIMA K, MORISAWA N, TAMURA K, et al. Recent research advances in renin-angiotensin-aldosterone system receptors [J]. *Curr Hypertens Rep*, 2020, 22(3): 22.

[17] GREEN D J, HOPMAN M T, PADILLA J, et al. Vascular adaptation to exercise in humans: role of hemodynamic stimuli [J]. *Physiol Rev*, 2017, 97(2): 495-528.

- [18] ASHOR A W, LARA J, SIERVO M, et al. Exercise modalities and endothelial function; a systematic review and dose-response Meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Sports Med*, 2015, 45(2): 279-296.
- [19] ZHOU X, XU M, BRYANT J L, et al. Exercise-induced myokine FND5/irisin functions in cardiovascular protection and intracerebral retrieval of synaptic plasticity[J]. *Cell Biosci*, 2019, 9: 32.
- [20] CHENG C, ZHANG D, CHEN S, et al. The association of cardiorespiratory fitness and the risk of hypertension: a systematic review and dose-response Meta-analysis[J]. *J Hum Hypertens*, 2022, 36(8): 744-752.
- [21] RAGHUVeer G, HARTZ J, LUBANS D R, et al. Cardiorespiratory fitness in youth: an important marker of health: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2020, 142(7): e101-e118.
- [22] 桓娜, 王承龙, 王培利. 心肺运动试验在心血管疾病中的诊疗和预后价值探讨[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2021, 29(11): 921-926.
- HUAN N, WANG C L, WANG P L. Diagnosis and prognostic value of cardiopulmonary exercise test in cardiovascular disease[J]. *Chin J Arterioscler*, 2021, 29(11): 921-926.
- [23] VAINSELBOIM B, MYERS J, MATTHEWS C E. Non-exercise estimated cardiorespiratory fitness and mortality from all-causes, cardiovascular disease, and cancer in the NIH-AARP diet and health study[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2022, 29(4): 599-607.
- [24] PATEL P H, GATES M, KOKKINOS P, et al. Non-exercise estimated cardiorespiratory fitness and incident hypertension[J]. *Am J Med*, 2022, 135(7): 906-914.
- [25] QIU S, CAI X, SUN Z, et al. Is estimated cardiorespiratory fitness an effective predictor for cardiovascular and all-cause mortality? A Meta-analysis[J]. *Atherosclerosis*, 2021, 330: 22-28.
- [26] BOULGHOBRA D, COSTE F, GENY B, et al. Exercise training protects the heart against ischemia-reperfusion injury: a central role for mitochondria? [J]. *Free Radic Biol Med*, 2020, 152: 395-410.
- [27] GOROSTEGI-ANDUAGA I, CORRES P, MARTINEZAGUIRRE-BETOLAZA A, et al. Effects of different aerobic exercise programmes with nutritional intervention in sedentary adults with overweight/obesity and hypertension: EXERDIET-HTA study[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2018, 25(4): 343-353.
- [28] LOPES S, MESQUITA-BASTOS J, GARCIA C, et al. Effect of exercise training on ambulatory blood pressure among patients with resistant hypertension: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Cardiol*, 2021, 6(11): 1317-1323.
- [29] RAMOS R M, COELHO-JUNIOR H J, ASANO R Y, et al. Impact of moderate aerobic training on physical capacities of hypertensive obese elderly[J]. *Gerontol Geriatr Med*, 2019, 5: 600029461.
- [30] THOMPSON S, WIEBE N, STICKLAND M K, et al. Physical activity in renal disease and the effect on hypertension: a randomized controlled trial[J]. *Kidney Blood Press Res*, 2022, 47(7): 475-485.
- [31] WONG A, KWAK Y S, SCOTT S D, et al. The effects of swimming training on arterial function, muscular strength, and cardiorespiratory capacity in postmenopausal women with stage 2 hypertension[J]. *Menopause*, 2018, 26(6): 653-658.
- [32] ARBOLEDA-SERNA V H, FEITO Y, PATINO-VILLADA F A, et al. Effects of high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on maximal oxygen consumption and blood pressure in healthy men: a randomized controlled trial[J]. *Biomedica*, 2019, 39(3): 524-536.
- [33] GUO Y, WANG S, LIU Y, et al. Accelerated cerebral vascular injury in diabetes is associated with vascular smooth muscle cell dysfunction[J]. *Geroscience*, 2020, 42(2): 547-561.
- [34] HOU Z, QIN X, HU Y, et al. Longterm exercise-derived exosomal miR-342-5p: a novel exerkine for cardioprotection[J]. *Circ Res*, 2019, 124(9): 1386-1400.
- [35] 吴东哲, 高晓麟, 时永进, 等. 运动过程中人体“二氧化碳耐受能力”与心肺耐力的关联分析[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(23): 3693-3699.
- WU D Z, GAO X L, SHI Y J, et al. Association analysis between human “carbon dioxide tolerance” and cardiorespiratory endurance during exercise[J]. *Chin J Tis Eng Res*, 2023, 27(23): 3693-3699.
- [36] SULTANA R N, SABAG A, KEATING S E, et al. The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Sports Med*, 2019, 49(11): 1687-1721.
- [37] DELGADO-FLOODY P, IZQUIERDO M, RAMIREZ-VELEZ R, et al. Effect of high-intensity interval training on body composition, cardiorespiratory fitness, blood pressure, and substrate utilization during exercise among prehypertensive and hypertensive patients with excessive adiposity[J]. *Front Physiol*, 2020, 11: 558910.
- [38] BLACKWELL J, GHARAHDAAGHI N, BROOK M S, et al. The physiological impact of high-intensity interval training in octogenarians with comorbidities[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2021, 12(4): 866-879.
- [39] JURIO-IRIARTE B, MALDONADO-MARTIN S. Effects of different exercise training programs on cardiorespiratory fitness in overweight/obese adults with hypertension: a pilot study [J]. *Health Promot Pract*, 2019, 20(3): 390-400.
- [40] RAMOS J S, DALLECK L C, BORRANI F, et al. High-intensity interval training and cardiac autonomic control in individuals with metabolic syndrome: a randomised trial[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 245: 245-252.
- [41] BOA S S N, PETRELLA A, CHRISTOPHER N, et al. The benefits of high-intensity interval training on cognition and blood pressure in older adults with hypertension and subjective cognitive decline: results from the heart & mind study [J]. *Front Aging Neurosci*, 2021, 13: 643809.
- [42] CHEEMA B S, DAVIES T B, STEWART M, et al. The feasibility and effectiveness of high-intensity boxing training versus moderate-intensity brisk walking in adults with abdominal obesity: a pilot study[J]. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 2015, 7: 3.
- [43] 裴庆. 10周抗阻训练对青年男性最大摄氧量及其限制因素的影响[D]. 北京: 北京体育大学, 2019: 16-25.
- PEI Q. The effect of 10 weeks of resistance training on the maximum oxygen uptake and its limiting factors in young men[D]. Beijing: Beijing Sport University, 2019: 16-25.

- [J]. *Mol Immunol*, 2021, 136: 26-35.
- [23] WANG B, CAO C, HAN D J, et al. Dysregulation of miR-342-3p in plasma exosomes derived from convalescent AMI patients and its consequences on cardiac repair[J]. *Biomed Pharmacother*, 2021, 142: 112056.
- [24] LI P, JIA X Y. MicroRNA-18-5p inhibits the oxidative stress and apoptosis of myocardium induced by hypoxia by targeting RUNX1 [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2022, 26(2): 432-439.
- [25] MA J D, ZHANG J W, WANG Y J, et al. miR-532-5p alleviates hypoxia-induced cardiomyocyte apoptosis by targeting PDCD4[J]. *Gene*, 2018, 675: 36-43.
- [26] ZHANG J, QIU W, MA J, et al. miR-27a-5p attenuates hypoxia-induced rat cardiomyocyte injury by inhibiting Atg7[J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(10): 2418.
- [27] REN Y, BAO R Z, GUO Z J, et al. miR-126-5p regulates H9c2 cell proliferation and apoptosis under hypoxic conditions by targeting IL-17A[J]. *Exp Ther Med*, 2021, 21(1): 67.
- [28] YANG C F. Clinical manifestations and basic mechanisms of myocardial ischemia/reperfusion injury[J]. *Ci Ji Yi Xue Za Zhi*, 2018, 30(4): 209-215.
- [29] LI C L, FANG M, LIN Z K, et al. MicroRNA-24 protects against myocardial ischemia-reperfusion injury via the NF- $\kappa$ B/TNF- $\alpha$  pathway [J]. *Exp Ther Med*, 2021, 22(5): 1288.
- [30] ZHANG S W, ZHANG R J, WU F F, et al. MicroRNA-208a regulates H9c2 cells simulated ischemia-reperfusion myocardial injury via targeting CHD9 through Notch/NF-kappa B signal pathways[J]. *Int Heart J*, 2018, 59(3): 580-588.
- [31] WANG C X, ZHANG C C, LIU L X, et al. Macrophage-derived miR-155-containing exosomes suppress fibroblast proliferation and promote fibroblast inflammation during cardiac injury[J]. *Mol Ther*, 2017, 25(1): 192-204.
- [32] ZHU W W, SUN L, ZHAO P C, et al. Macrophage migration inhibitory factor facilitates the therapeutic efficacy of mesenchymal stem cells derived exosomes in acute myocardial infarction through upregulating miR-133a-3p[J]. *J Nanobiotechnology*, 2021, 19(1): 61.
- [33] FAN Z G, QU X L, CHU P, et al. MicroRNA-210 promotes angiogenesis in acute myocardial infarction [J]. *Mol Med Rep*, 2018, 17(4): 5658-5665.
- [34] GU H Y, LIU Z Y, LI Y Q, et al. Serum-derived extracellular vesicles protect against acute myocardial infarction by regulating miR-21/PDCD4 signaling pathway [J]. *Front Physiol*, 2018, 9: 348.
- [35] CAI A A, ZHU Q X, ZENG Y, et al. Manganese oxide nanoparticles as MRI contrast agents in tumor multimodal imaging and therapy[J]. *Int J Nanomedicine*, 2019, 14: 8321-8344.
- [36] ZHAI J Q, WANG Y E, ZHOU X P, et al. Long-term sustained release poly (lactic-co-glycolic acid) microspheres of asenapine maleate with improved bioavailability for chronic neuropsychiatric diseases[J]. *Drug Deliv*, 2020, 27(1): 1283-1291.
- [37] CHENG Y, HE Q, LI N, et al. Activation of PTEN/P13K/Akt signaling pathway by miRNA-124-3p-loaded nanoparticles to regulate oxidative stress attenuates cardiomyocyte regulation and myocardial injury[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2022, 2022: 8428596.
- [38] 毛少斌, 梁 斌. CTRP9 在心肌梗死后心肌重构中的作用研究进展[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(2): 167-170.
- MAO S B, LIANG B. Study advances on the role of CTRP9 in myocardial remodeling after myocardial infarction [J]. *Chin J Arterioscler*, 2022, 30(2): 167-170.
- (此文编辑 许雪梅)

(上接第 994 页)

- [44] SCHROEDER E C, FRANKE W D, SHARP R L, et al. Comparative effectiveness of aerobic, resistance, and combined training on cardiovascular disease risk factors: a randomized controlled trial [J]. *PLoS One*, 2019, 14(1): e210292.
- [45] PHOEMSAPTHAWEE J, SRITON B. Combined exercise training improves blood pressure at rest and during exercise in young obese prehypertensive men[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2021, 61(3): 468-479.
- [46] SEGURO C, VIANA R, LIMA G, et al. Improvements in health parameters of a diabetic and hypertensive patient with only 40 minutes of exercise per week: a case study [J]. *Disabil Rehabil*, 2020, 42(21): 3119-3125.
- [47] LOPEZ P, RADAELLI R, TAAFFE D R, et al. Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: systematic review and network Meta-analysis[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2021, 53(6): 1206-1216.
- (此文编辑 文玉珊)