

# 有氧运动对难治性高血压患者血压水平影响效果的 Meta 分析

王福粮<sup>1</sup>, 崔运坤<sup>2</sup>, 吴玥<sup>1</sup>

1. 信韩大学研究生院, 韩国 京畿道 11644; 2. 泰山学院体育学院, 山东 泰安 271000

**摘要:** **目的** 通过 meta 分析探究有氧运动干预与难治性高血压患者血压水平间的关系, 进而探寻较优降血压干预方案, 为难治性高血压的控制与治疗提供参考。**方法** 在 CBM、CNKI、WANFANG、VIP、Pubmed、OVID、Emabase、Web of Science 等数据库中检索中、英文发表的有氧运动干预与难治性高血压患者的随机对照试验, 检索时间为建库至 2025 年 3 月 25 日。文献筛选与资料提取由两名研究者独立进行。采用 RoB 2 进行风险偏倚评价, 采用 RevMan 5.4 软件进行统计学分析。**结果** 最终纳入 10 篇文献, 病例 532 名。Meta 分析结果显示, 与干预前相比, 患者干预后收缩压 ( $SMD=0.77, 95\% CI: 0.57 \sim 0.96, P<0.000 01$ )、舒张压 ( $SMD=0.83, 95\% CI: 0.63 \sim 1.02, P<0.000 01$ )、24h 收缩压 ( $SMD=0.48, 95\% CI: 0.23 \sim 0.73, P=0.000 2$ )、24h 舒张压 ( $SMD=0.43, 95\% CI: 0.17 \sim 0.68, P=0.000 9$ ) 均明显降低 ( $P<0.05$ )。亚组分析显示, 年龄  $\leq 60$  岁、BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>、运动强度  $>60\% VO_{2max}$ 、运动周期  $>12$  周的亚组收缩压降低更明显; 年龄  $\leq 60$  岁、BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>、运动强度  $\leq 60\% VO_{2max}$ 、运动周期  $>12$  周的亚组舒张压降低更明显; 年龄  $>60$  岁、BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>、运动强度  $\leq 60\% VO_{2max}$ 、运动周期  $>12$  周的亚组 24h 收缩压降低更明显; 年龄  $\leq 60$  岁、BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>、运动强度  $>60\% VO_{2max}$ 、运动周期  $\leq 12$  周的亚组 24h 舒张压降低更明显。**结论** 有氧运动能有效降低难治性高血压患者血压水平, 人群条件和干预条件差异, 可能导致干预效果差异; 当下相关文献数量较少, 且大部分存在一定偏倚风险。受研究数量和质量限制, 未来需要更多高质量研究对该结论进行印证与探索。

**关键词:** 高血压; 难治性高血压; 顽固性高血压; 有氧运动; meta 分析

中图分类号: R544.1; G804.7 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)19-3596-08

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202504334

## Meta-analysis of the effects of aerobic exercise on blood pressure in patients with resistant hypertension

WANG Fu-liang\*, CUI Yun-kun, WU Yue

\*Graduate Schools, Shinhan University, Gyeonggi-do 11644, Republic of Korea

**Abstract: Objective** To investigate the effect of aerobic exercise on blood pressure in patients with resistant hypertension through meta-analysis, aiming to identify more effective intervention strategies and provide reference for the control and treatment of resistant hypertension. **Methods** A systematic search was performed in CBM, CNKI, WANFANG, VIP, PubMed, OVID, Embase, and Web of Science for randomized controlled trials (RCTs) published in Chinese or English from inception to March 25, 2025. Two researchers independently conducted study selection and data extraction. Risk of bias was assessed using RoB 2, and statistical analyses were performed with RevMan 5.4. **Results** A total of 10 studies were included, comprising 532 cases. Meta-analysis showed that aerobic exercise significantly reduced systolic blood pressure (SBP) ( $SMD=0.77, 95\% CI: 0.57-0.96, P<0.000 01$ ), diastolic blood pressure (DBP) ( $SMD=0.83, 95\% CI: 0.63-1.02, P<0.000 01$ ), 24-hour SBP ( $SMD=0.48, 95\% CI: 0.23-0.73, P=0.000 2$ ), and 24-hour DBP ( $SMD=0.43, 95\% CI: 0.17-0.68, P=0.000 9$ ). Subgroup analyses indicated greater SBP reductions among participants aged  $\leq 60$  years, with BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>, exercise intensity  $>60\% VO_{2max}$ , and intervention  $>12$  weeks. DBP improvements were more evident in subgroups with age  $\leq 60$  years, BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>, intensity  $\leq 60\% VO_{2max}$ , and duration  $>12$  weeks. For 24-hour SBP, larger effects were found in subgroups with age  $>60$  years, BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>, intensity  $\leq 60\% VO_{2max}$ , and duration  $>12$  weeks. In contrast, greater 24-hour DBP reductions occurred in participants aged  $\leq 60$  years, with BMI  $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>, intensity  $>60\% VO_{2max}$ , and duration  $\leq 12$  weeks. **Conclusion** Aerobic exercise has a positive effect on reducing blood pressure in patients with resistant hypertension. Differences in participant characteristics and intervention protocols may affect the extent of this effect. The current relevant studies are limited in

基金项目: 国家社会科学基金项目(19BTY090)

作者简介: 王福粮(1996—), 男, 博士在读, 研究方向: 运动与疾病防控

通信作者: 崔运坤, E-mail: tyxycyk@163.com

number and most have some risk of bias. However, the limited quantity and quality of existing studies highlight the need for further high-quality research to confirm and extend these findings.

**Keywords:** Hypertension; Resistant hypertension; Refractory hypertension; Aerobic exercise; Meta-analysis

心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)是全球第一大死亡原因<sup>[1]</sup>,高血压则是 CVD 的主要危险因素,是人类生命安全的头号杀手<sup>[2]</sup>。据世界卫生组织(WHO)披露,至 2019 年,全球 12.8 亿 30~79 岁成年人患高血压,约有 45% 的高血压患者不知晓病情<sup>[3]</sup>。在我国,高血压总体患病率达 27%,导致的死亡已超过 CVD 总体死亡人数的一半<sup>[4]</sup>。难治性高血压(resistant hypertension, RH)也称顽固性高血压,是高血压治疗领域中的一大难题,高血压患者服用 3 种具有互补作用机制的抗高血压药物但血压水平未达到控制,或当血压得到控制但需要服用 $\geq 4$  种药物时,可诊断为 RH<sup>[5]</sup>,有研究表明,RH 的患病率约为 14%<sup>[6]</sup>,并且 RH 患者发生心肌梗死、卒中和死亡等的风险可能比非 RH 患者高出几倍<sup>[7-9]</sup>,对人类生命安全带来巨大危害。

缺乏运动或身体活动是多国高血压发病的主要原因<sup>[9-10]</sup>,有氧运动(aerobic exercise)控制 RH 的有效性得到一定验证<sup>[11]</sup>,我国专家亦推荐将有氧运动作为治疗性生活干预措施纳入 RH 患者的血压管理方案<sup>[12]</sup>。然而,目前国内外针对有氧运动管理 RH 的研究结论尚不一致,本研究采用 meta 分析的方法,探究有氧运动干预对 RH 的降压效果,以期发掘较优有氧运动方案,为 RH 的有效控制和治疗提供证据与参考。

## 1 资料与方法

**1.1 检索策略** 通过主题词与自由词结合,在 CBM、CNKI、WANFANG、VIP 获取中文文献,在 Pubmed、OVID、Embase、Web of Science 获取英文文献;各数据库检索截止时间为 2025 年 3 月 24—25 日。中文检索词为难治性高血压、运动、有氧运动、需氧运动、耐力运动、血压等;英文检索词为 intractable hypertension, recalcitrant hypertension, acute exercise\*, aerobic exercis\*, blood pressure\*, blood tension 等。以 OVID 为例,检索策略见图 1。

**1.2 纳入和排除标准** 依据 Cochrane 系统评价工作手册<sup>[13]</sup>,制定纳入和排除标准。

**1.2.1 纳入标准** (1)研究类型:随机对照试验(RCT)。(2)试验对象:无其他引起血压水平变化疾病的 RH 患者。(3)干预措施:试验组进行 AE 干预,对照组无 AE 干预。(4)结局指标:人体血压水平的主要指标,包括收缩压(systolic blood pressure)、舒张压(diastolic blood pressure)、24 小时收缩压、24 小时舒张压。

**1.2.2 排除标准** (1)综述等非随机对照试验。(2)PICO 信息不完整。(3)原始发表文献外的重复发表。

```
Ovid MEDLINE(R) ALL <1946 to March 24, 2025>
1 exercise.sh. 156009
2 Blood pressure.sh. 298950
3 (blood pressure monitoring, ambulatory or blood pressure monitoring).sh. 12462
4 ("intractable hypertension" or "recalcitrant hypertension" or "refractory hypertension" or "resistant hypertension").ab. or ("intractable hypertension" or "recalcitrant hypertension" or "refractory hypertension" or "resistant hypertension").ti. 5101
5 ("acute exercise*" or "aerobic danc*" or "aerobic exercis*" or "aerobicaerobic exercises" or "aerobics" or "exercise*" or "isometric exercise*" or "low impact aerobic exercise" or "low impact aerobic" or "physical activit*" or "physical exercise*" or "step aerobics").ab. or ("acute exercise*" or "aerobic danc*" or "aerobic exercis*" or "aerobicaerobic exercises" or "aerobics" or "exercise*" or "isometric exercise*" or "low impact aerobic exercise" or "low impact aerobic" or "physical activit*" or "physical exercise*" or "step aerobics").ti. 518199
6 ("blood pressure*" or "blood tension" or "diastolic pressure" or "intravascular pressure" or "normotension" or "pulse pressure" or "systolic pressure" or "vascular pressure").ab. or ("blood pressure*" or "blood tension" or "diastolic pressure" or "intravascular pressure" or "normotension" or "pulse pressure" or "systolic pressure" or "vascular pressure").ti. 388684
7 ("blood systolic pressure" or "systolic blood pressur*" or "systolic pressure" or "blood diastolic pressure" or "diastolic pressure" or "24 hour blood pressure" or "blood pressure monitoring" or "self blood pressure monitoring").ab. or ("blood systolic pressure" or "systolic blood pressur*" or "systolic pressure" or "blood diastolic pressure" or "diastolic pressure" or "24 hour blood pressure" or "blood pressure monitoring" or "self blood pressure monitoring").ti. 103459
8 1 or 5 540100
9 2 or 3 or 6 or 7 526748
10 4 and 8 and 9 91
```

图 1 OVID 检索策略

Figure 1 OVID literature retrieval strategy

(4)研究对象患精神疾病。(5)研究设计不合理。

**1.3 文献筛选与数据提取** 两名研究者独立进行,分歧时商讨解决或交由第三方定夺。文献筛选时,先剔除重复文献,后依次阅读题目、摘要、全文,最终确定是否纳入。数据提取内容有年份、第一作者、样本及干预信息、结局指标等。

**1.4 偏倚风险评价** 两名研究者独立进行并交叉核对。应用 RoB 2 进行偏倚风险评价<sup>[14-15]</sup>,风险来源包括随机化过程、干预偏离、结局缺失、结局测量、选择性报告;对不同风险领域进行相应判定,最终做出高偏倚风险(high)、有一定风险(some concerns)、低偏倚风险(low)的判定。

**1.5 统计分析** 采用 RevMan5.4 完成异质性检验、数据合并、森林图绘制、亚组分析。根据结局指标性质,以标准化均值差(standardized mean difference, SMD)为效应量,并以 95%置信区间(CI)计算。异质性检验中, $P > 50%$ ,采用随机效应模型; $P \leq 50%$ ,采用固定效应模型。采用逐个剔除法进行敏感性分析。依据人群因素及干预因素进行亚组分析。文献数量达 10 篇时,采用漏斗图进行发表偏倚检验。

**1.6 证据总体质量分级** 采用 GRADE 工具进行纳入文献总体质量分级,根据偏倚风险、异质性、间接性、精确度、发表偏移等方面进行证据的降级,将证据质量划分为高、中、低、极低,依次反映对效应估计值信心的强弱程度。

## 2 结果

**2.1 文献检索流程及结果** 初步检索共获取文献 1 262 篇,经逐层筛选后,最终纳入文献 10 篇。文献检索步骤及结果见图 2。

**2.2 纳入文献的基本特征** 共纳入 10 篇文献,包含受试者 532 名,文献基本特征见表 1。

**2.3 偏倚风险评价结果** 根据 ROB2 进行偏倚风险评价,绘制偏移风险百分比图,风险百分比图见图 3,偏倚风险总结图见图 4。可见纳入研究中多数未表现出高偏倚风险,说明整体方法学质量可以接受,其中结局缺失(D3)均为低风险,而随机化过程(D1)基本存在不确定风险。三项高偏倚风险均来自于干预偏离(D2),由盲法实施不佳导致,需在解释干预结果时加以注意。

**2.4 Meta 分析** 本研究中 SMD 为干预前后的血压均值差值,即  $SMD > 0$  表示有氧运动具有积极干预效果。

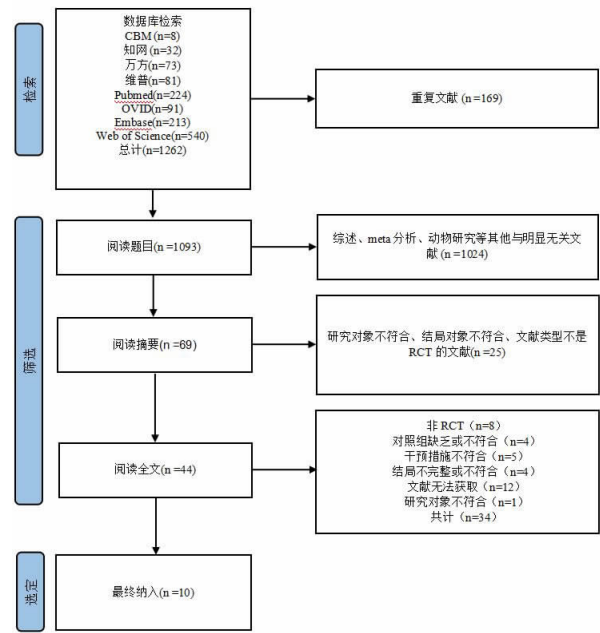


图 2 文献筛选步骤及结果

Figure 2 Literature screening process and results

表 1 纳入文献基本信息( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Basic information of included studies ( $\bar{x} \pm s$ )

第一作者及年份	样本量(干预组 / 对照组)	研究对象( $\bar{x} \pm s$ )				对照组	结局指标
		年龄(岁)		BMI(kg/m <sup>2</sup> )			
		干预组	对照组	干预组	对照组		
王鹏 2013 <sup>[16]</sup>	43(23/20)	65.4 ± 5.7	62.8 ± 4.9	25.6 ± 2.8	24.3 ± 3.2	保持生活习惯	①②③
黄伟 2014 <sup>[17]</sup>	22(12/10)	51.5 ± 7.1	54.4 ± 8.4	26.9 ± 4.8	28.7 ± 3.8	保持生活习惯	①②
孙漾丽 2015 <sup>[18]</sup>	78(39/39)	69.49 ± 8.36	69.78 ± 8.43	26.88 ± 4.65	27.35 ± 4.76	保持安静状态	①②
李轶 2016 <sup>[19]</sup>	84(42/42)	70.1 ± 2.2	70 ± 2.0	—	—	常规治疗	①②
周一前 2019 <sup>[20]</sup>	110(55/55)	59.45 ± 5.21	69.45 ± 4.21	—	—	常规治疗	①②
Fernando Dimeo2012 <sup>[21]</sup>	50(24/26)	62.8 ± 8.1	67.9 ± 6.2	28.9 ± 4.4	29.9 ± 4.7	无干预组运动	①②③
Alberto J Alves2018 <sup>[22]</sup>	19(12/7)	59.4 ± 7.9 <sup>a</sup>	—	30.4 ± 4.2 <sup>a</sup>	—	常规治疗	③
A.J.A. Alves2019 <sup>[23]</sup>	25(16/9)	59.4 ± 7.4 <sup>a</sup>	—	29.4 ± 4.1 <sup>a</sup>	—	无干预组运动	③
Susana Lopes2021 <sup>[24]</sup>	48(26/22)	59.3 ± 8.3	59.6 ± 9.0	30.1 ± 4.9	30.0 ± 4.9	无干预组运动	③
Susana Lopes2021(2) <sup>[25]</sup>	53(26/27)	59.3 ± 8.2	60.8 ± 9.2	29.8 ± 4.9	30.4 ± 5.0	常规护理	①②③

(续表)

第一作者及年份	干预方案					
	手段	周期	时间	频率	强度	
王鹏 2013 <sup>[16]</sup>	跑步	16 周	AE30 ~ 45min, 热身及整理 10 ~ 20min	每周 3 次	1 ~ 4 周 50%VO <sub>2max</sub> 5 ~ 16 周 60%VO <sub>2max</sub>	
黄伟 2014 <sup>[17]</sup>	有氧跑	12 周	AE40min, 热身及整理 10 ~ 20min	每周 3 次	1 ~ 6 周 60%VO <sub>2max</sub> 7 ~ 12 周 70%VO <sub>2max</sub>	
孙漾丽 2015 <sup>[18]</sup>	有氧跑	3 个月	根据心率调控	每周 3 次	首周 30%VO <sub>2max</sub> 逐周递增 10%VO <sub>2max</sub> , 至 60%VO <sub>2max</sub> 时维持	
李轶 2016 <sup>[19]</sup>	有氧跑	3 个月	根据心率调控	每周 3 次	首周 30%VO <sub>2max</sub> 逐周递增 10%VO <sub>2max</sub> , 至 60%VO <sub>2max</sub> 时维持	
周一前 2019 <sup>[20]</sup>	有氧跑	—	根据训练情况控制	—	据训练情况控制训练强度	
Dimeo F2012 <sup>[21]</sup>	跑步机行走	8 ~ 12 周	根据乳酸浓度调整	每周 3 次	据乳酸曲线、Borg 量表得分调整	
Alves AJ2018 <sup>[22]</sup>	—	3 个月	40min	每周 3 次	50 ~ 70%VO <sub>2max</sub>	
Alves AJA2019 <sup>[23]</sup>	跑步或骑车	3 个月	40min	每周 3 次	50 ~ 70%VO <sub>2max</sub>	
Lopes S2021 <sup>[24]</sup>	—	12 周	AE40 ~ 50min	每周 3 次	50 ~ 70%VO <sub>2max</sub>	
Lopes S2021(2) <sup>[25]</sup>	步行和 / 或骑车	12 周	AE40min, 热身及整理 20min	每周 3 次	50 ~ 70%VO <sub>2max</sub>	

注:<sup>a</sup>为合并组;①收缩压、②舒张压、③24 小时动态血压(M);—为未提及。

**2.4.1 收缩压** 纳入 7 篇文献<sup>[16-21,25]</sup>,干预前后收缩压差异有统计学意义( $SMD=0.77, 95\%CI:0.57 \sim 0.96,$

$P < 0.000 01$ ), 说明有氧运动干预显著降低了 RH 患者的收缩压。见图 5。

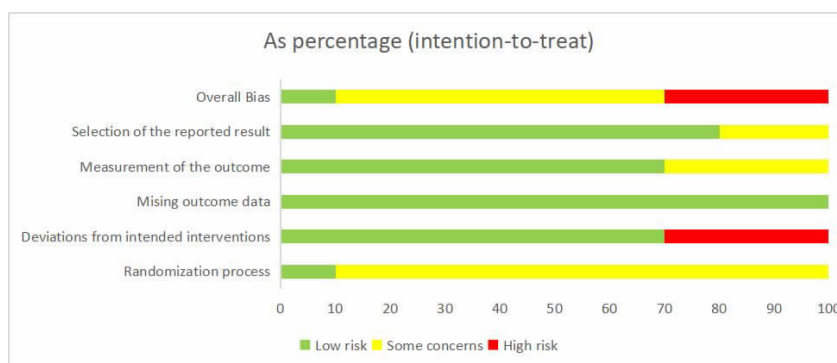


图 3 纳入研究的偏倚风险百分比(n=10)

Figure 3 Risk of bias distribution in included studies (n=10)

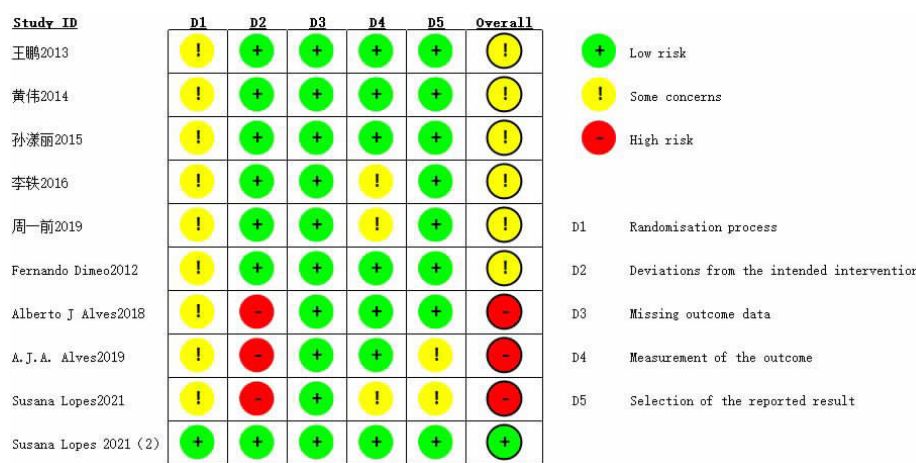


图 4 偏倚风险总结(n=10)

Figure 4 Summary of risk of bias (n=10)

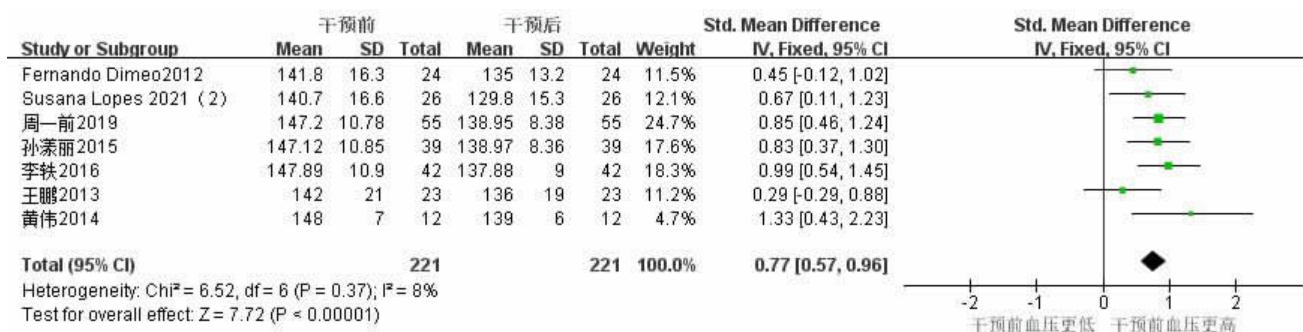


图 5 有氧运动对 RH 患者收缩压干预效果的森林图

Figure 5 Forest plot of the effect of aerobic exercise on SBP in patients with resistant hypertension

2.4.2 舒张压 纳入 7 篇文献<sup>[16-21,25]</sup>,干预前后舒张压差异有统计学意义( $SMD=0.83, 95\%CI:0.63 \sim 1.02, P<0.000 01$ ),说明有氧运动干预显著降低了 RH 患者的舒张压。见图 6。

2.4.3 24 h 收缩压 纳入 6 篇文献<sup>[16,21-25]</sup>,干预前后 24 h 收缩压差异有统计学意义 ( $SMD=0.48, 95\%CI:0.23 \sim 0.73, P=0.000 2$ ),说明有氧运动干预显著降低了 RH 患者的 24h 收缩压。见图 7。

2.4.4 24 h 舒张压 纳入 6 篇文献<sup>[16,21-25]</sup>,干预前后 24h 舒张压差异有统计学意义 ( $SMD=0.43, 95\%CI:0.17 \sim 0.68, P=0.000 9$ ),说明有氧运动干预显著降低

了 RH 患者的 24h 舒张压。见图 8。

2.5 亚组分析 为进一步探究潜在影响因素,对受试者年龄、BMI,以及有氧运动的干预强度、周期进行亚组分析,根据亚组内异质性选择效应模型, $P>50\%$ 采用随机效应模型, $P\leq 50\%$ 采用固定效应模型,结果汇总见表 2。

2.5.1 年龄 除年龄>60 岁人群的 24 h 舒张压( $P=0.09$ )降低不显著外,均产生显著降低。降低收缩压( $SMD=0.85 > 0.71$ )、舒张压( $SMD=0.88 > 0.75$ )、24 h 舒张压( $SMD=0.47 > 0.36$ )的效果在年龄 $\leq 60$ 岁的人群中更好;降低 24h 收缩压( $SMD=0.49 > 0.47$ )的效果

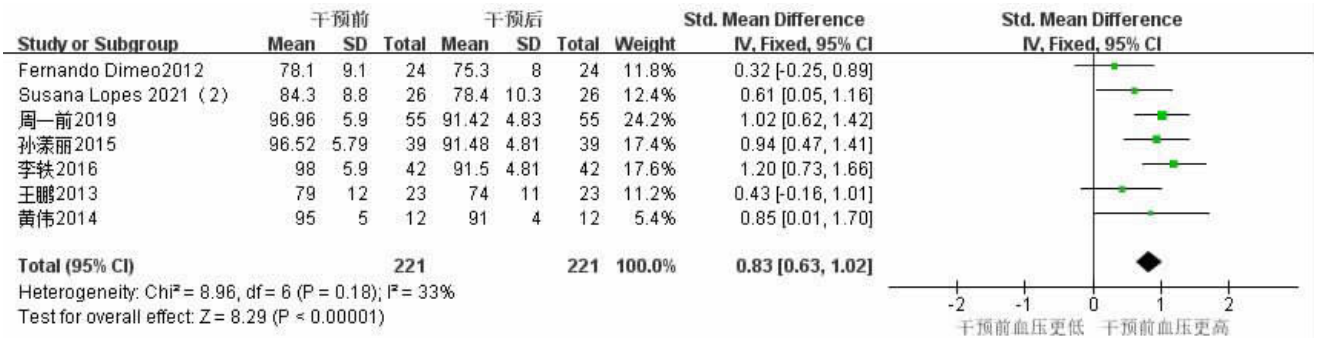


图 6 有氧运动对 RH 患者舒张压干预效果的森林图

Figure 6 Forest plot of the effect of aerobic exercise on DBP in patients with resistant hypertension

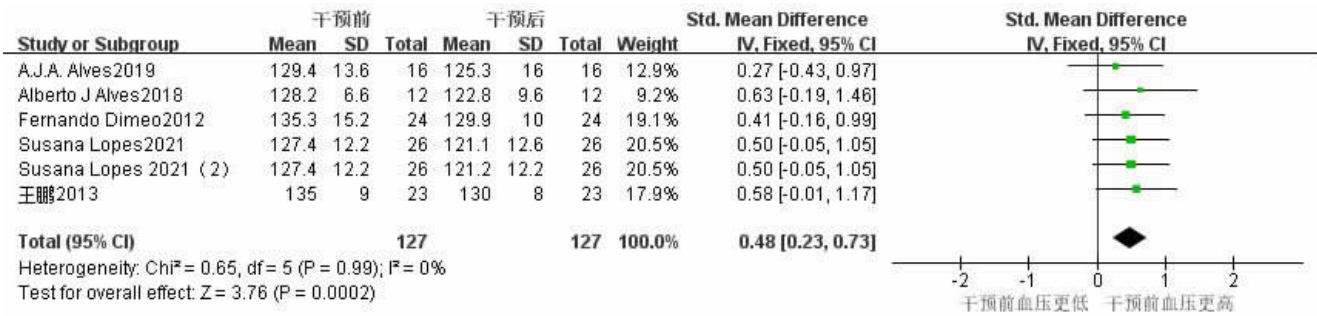


图 7 有氧运动对 RH 患者 24h 收缩压干预效果的森林图

Figure 7 Forest plot of the effect of aerobic exercise on 24-hour SBP in patients with resistant hypertension

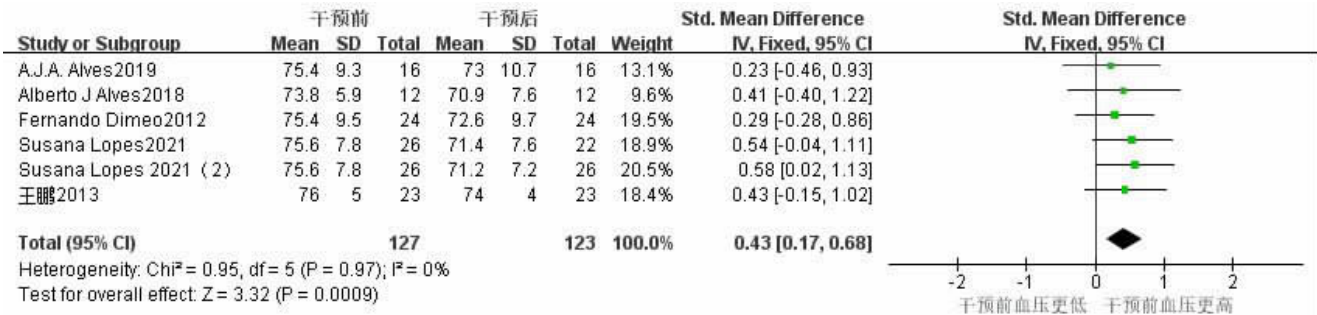


图 8 有氧运动对 RH 患者 24h 舒张压干预效果的森林图

Figure 8 Forest plot of the effect of aerobic exercise on 24-hour DBP in patients with resistant hypertension.

在年龄 >60 岁的人群中更好。

**2.5.2 BMI** 除 BMI ≤ 28 kg/m<sup>2</sup> 人群的 24 h 收缩压 ( $P = 0.06$ )、24 h 舒张压 ( $P = 0.15$ ) 降低不显著外, 均产生显著降低。降低收缩压 ( $SMD = 0.77 > 0.56$ )、舒张压 ( $SMD = 0.85 > 0.47$ )、24 h 收缩压 ( $SMD = 0.58 > 0.46$ )、24h 舒张压 ( $SMD = 0.43 > 0.42$ ) 的效果均在 BMI ≤ 28kg/m<sup>2</sup> 的人群中更好。

**2.5.3 干预强度** 除强度 ≤ 60VO<sub>2max</sub> 时对 24 h 收缩压 ( $P = 0.06$ )、24 h 舒张压 ( $P = 0.15$ ) 降低不显著外, 均产生显著降低。降低舒张压 ( $SMD = 0.89 > 0.68$ )、24 h 收缩压 ( $SMD = 0.58 > 0.47$ ) 的效果在强度 ≤ 60VO<sub>2max</sub> 时更好; 降低收缩压 ( $SMD = 0.86 > 0.77$ )、24 h 舒张压 ( $SMD = 0.47 > 0.43$ ) 的效果在强度 > 60VO<sub>2max</sub> 时更好。

**2.5.4 干预周期** 除周期 > 12 周时对 24 h 舒张压 ( $P = 0.07$ ) 降低不显著外, 均产生显著降低。降低 24 h

舒张压 ( $SMD = 0.47 > 0.37$ ) 的效果在 ≤ 12 周时效果更好; 降低收缩压 ( $SMD = 0.77 > 0.69$ )、舒张压 ( $SMD = 0.89 > 0.54$ )、24 h 收缩压 ( $SMD = 0.49 > 0.47$ ) 的效果在周期 > 12 周时更好。

**2.6 敏感性分析与发表偏移** 采用逐一剔除法进行敏感性分析, 剔除研究后未出现结果的变化, 表明研究结果比较稳定。各结局指标纳入研究数量均少于 10 篇, 根据 Cochrane 系统评价手册建议, 未进行发表偏移检验。

**2.7 GRADE 证据总体质量评价** 对纳入的各项结局指标进行 GRADE 证据质量评价, 其中收缩压、舒张压、24 h 收缩压、24 h 舒张压均为中级质量证据, 证据降级的来源为偏倚风险, 主要由于部分纳入文献对于试验是否随机化分配以及对受试者是否在分配到干预措施前施盲交代不明确。见表 3。

表 2 有氧运动对 RH 患者血压水平影响的亚组分析

Table 2 Subgroup analysis of the effects of aerobic exercise on blood pressure in patients with resistant hypertension

亚组	分类	血压指标	文献数量	I <sup>2</sup> (%)	P 值	SMD(95%CI)	P 值
年龄(岁)	≤60	收缩压	3 <sup>[17,20,25]</sup>	0	0.47	0.85(0.55 ~ 1.15)	<0.000 01
		舒张压	3 <sup>[17,20,25]</sup>	0	0.49	0.88(0.57 ~ 1.18)	<0.000 01
		24h 收缩压	4 <sup>[23-26]</sup>	0	0.92	0.47(0.16 ~ 0.79)	0.003
		24h 舒张压	4 <sup>[23-26]</sup>	0	0.88	0.47(0.15 ~ 0.79)	0.004
	>60	收缩压	4 <sup>[16,18-19,21]</sup>	33	0.21	0.71(0.45 ~ 0.96)	<0.000 01
		舒张压	4 <sup>[16,18-19,21]</sup>	59	0.06	0.75(0.34 ~ 1.16)	0.000 3
		24h 收缩压	2 <sup>[16,21]</sup>	0	0.70	0.49(0.08 ~ 0.90)	0.02
		24h 舒张压	2 <sup>[16,21]</sup>	0	0.72	0.36(-0.05 ~ 0.77)	0.09
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	≤28	收缩压	3 <sup>[16-18]</sup>	44	0.17	0.77(0.48 ~ 1.05)	<0.000 01
		舒张压	3 <sup>[16-18]</sup>	51	0.13	0.85(0.35 ~ 1.35)	0.000 9
		24h 收缩压	1 <sup>[16]</sup>	—	—	0.58(-0.01 ~ 1.17)	0.06
		24h 舒张压	1 <sup>[16]</sup>	—	—	0.43(-0.15 ~ 1.02)	0.15
	>28	收缩压	2 <sup>[21,25]</sup>	0	0.59	0.56(0.16 ~ 0.97)	0.006
		舒张压	2 <sup>[21,25]</sup>	0	0.48	0.47(0.07 ~ 0.87)	0.02
		24h 收缩压	5 <sup>[21,23-26]</sup>	0	0.97	0.46(0.18 ~ 0.73)	0.001
		24h 舒张压	5 <sup>[21,23-26]</sup>	0	0.92	0.42(0.15 ~ 0.70)	0.003
干预强度(VO <sub>2max</sub> )	≤60	收缩压	3 <sup>[16,18-19]</sup>	44	0.17	0.77(0.48 ~ 1.05)	<0.000 01
		舒张压	3 <sup>[16,18-19]</sup>	51	0.13	0.89(0.47 ~ 1.30)	<0.000 1
		24h 收缩压	1 <sup>[16]</sup>	—	—	0.58(-0.01 ~ 1.17)	0.06
		24h 舒张压	1 <sup>[16]</sup>	—	—	0.43(-0.15 ~ 1.02)	0.15
	>60	收缩压	2 <sup>[17,25]</sup>	33	0.22	0.86(0.38 ~ 1.33)	0.000 4
		舒张压	2 <sup>[17,25]</sup>	0	0.63	0.68(0.22 ~ 1.15)	0.004
		24h 收缩压	4 <sup>[23-26]</sup>	0	0.92	0.47(0.16 ~ 0.79)	0.003
		24h 舒张压	4 <sup>[23-26]</sup>	0	0.88	0.47(0.15 ~ 0.79)	0.004
干预周期(周)	≤12	收缩压	3 <sup>[17,21,25]</sup>	24	0.27	0.69(0.33 ~ 1.06)	0.0002
		舒张压	3 <sup>[17,21,25]</sup>	0	0.56	0.54(0.18 ~ 0.90)	0.003
		24h 收缩压	3 <sup>[21,25-26]</sup>	0	0.97	0.47(0.15 ~ 0.80)	0.004
		24h 舒张压	3 <sup>[21,25-26]</sup>	0	0.74	0.47(0.14 ~ 0.80)	0.005
	>12	收缩压	3 <sup>[16,18-19]</sup>	44	0.17	0.77(0.48 ~ 1.05)	<0.000 01
		舒张压	3 <sup>[16,18-19]</sup>	51	0.13	0.89(0.47 ~ 1.30)	<0.000 1
		24h 收缩压	3 <sup>[16,23-24]</sup>	0	0.75	0.49(0.10 ~ 0.89)	0.01
		24h 舒张压	3 <sup>[16,23-24]</sup>	0	0.90	0.37(-0.03 ~ 0.76)	0.07

注:—为不涉及。

表 3 证据总体评价情况

Table 3 Summary of overall quality of evidence

结局指标	研究设计	偏倚风险	异质性	间接性	精确度	发表偏移	病例数	SMD(95%CI)	证据质量
收缩压	RCT	降一级	不降级	不降级	不降级	—	221	0.77 (0.57 ~ 0.96)	中级
舒张压		降一级	不降级	不降级	不降级	—	221	0.83 (0.63 ~ 1.02)	中级
24h 收缩压		降一级	不降级	不降级	不降级	—	127	0.48 (0.23 ~ 0.73)	中级
24h 舒张压		降一级	不降级	不降级	不降级	—	127	0.43 (0.17 ~ 0.68)	中级

注:—为不涉及。

### 3 讨论

3.1 总体影响效应 Meta 分析结果显示,有氧运动干预有效降低了 RH 患者的各项血压指标,这与近年二项相近 meta 分析结论相符<sup>[26-27]</sup>。有氧运动降压的原理有多种可能:一方面,血管内皮功能与人体血压水

平息息相关,有氧运动可通过增加一氧化氮释放和减少氧化应激来增强内皮依赖性血管松弛,改善内皮功能<sup>[28]</sup>。此外,血压降低可能源自人体微血管重塑消退或增加促血管生成刺激导致毛细血管生长,以及运动诱导血管树结构重塑、骨骼肌纤维类型和血管平滑肌细胞表型转换等<sup>[29]</sup>;另一方面,还可能源自抵消抗

血管生成状态、诱导骨骼肌中的血管生成<sup>[30]</sup>,这无疑是利于人体血液循环的。

**3.2 亚组影响效应** 年龄方面,无论年龄是否超过 60 岁,RH 患者均能从有氧运动中明显获益。BMI 方面,BMI>28kg/m<sup>2</sup> 患者的各项血压指标均显著下降,这可能因为减肥本身就是治疗 RH 的非药物治疗手段<sup>[31]</sup>,而参与有氧运动则使人体消耗了更多热量。干预强度方面,当强度 $\leq 60\text{VO}_{2\text{max}}$ 时,24 小时动态血压降低的稳健性和临床意义需谨慎解读;强度 $> 60\text{VO}_{2\text{max}}$ 时,各项血压指标均出现显著下降,这或许说明 RH 患者应该进行强度在  $60\text{VO}_{2\text{max}}$  以上的有氧运动来控制血压。干预周期方面,除高于 12 周时 24h 舒张压的下降效果需要谨慎解读外,12 周以内的有氧运动均取得了良好降压效果。

**3.3 较优运动方案** 目前我国专家提倡进行以有氧运动为主,每周 5 d、每天至少 30 min 的中等强度运动,推荐强度为  $60\% \sim 70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ <sup>[12]</sup>。此外,有研究提出中高强度的运动降低高血压人群血压的幅度更大<sup>[32]</sup>,也有研究认为有氧运动对药物无反应的高血压患者的降压效果不受运动强度的影响<sup>[33]</sup>, $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$  的高强度有氧运动不会产生更好的降压效果<sup>[34]</sup>;可见目前最优运动方案尚无定论。参考前人研究并结合本研究结果,似乎每周 3 次、 $60\% \sim 70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ 、单次 30 min 的定期有氧运动是适合 RH 患者的方案,而相比于设定具体运动周期,能够养成定期运动的良好习惯则更为重要。

**3.4 研究局限** (1)未检索灰色文献,可能会错过一些研究。(2)由于文献数量较少,结局指标未纳入日间、夜间动态血压等结局,若条件满足,未来可以进行丰富。(3)纳入文献中的性别、单次干预时间、频率信息不足或差异不充分,未进行此方面的亚组分析。(4)纳入研究的数量和质量有待提升,需更多高质量研究佐证。

**利益冲突声明** 本研究不存在任何利益冲突

#### 参考文献

- [1] World Health Organization. Guideline for the pharmacological treatment of hypertension in adults [EB/OL]. [2025-06-29]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240050969>.
- [2] Danaei G, Ding EL, Mozaffarian D, et al. The preventable causes of death in the United States: comparative risk assessment of dietary, lifestyle, and metabolic risk factors [J]. PLOS Medicine, 2009, 6(4): e1000058.
- [3] Joint News Release. More than 700 million People with untreated hypertension [EB/OL]. [2025-06-29]. <https://www.who.int/news/item/25-08-2021-more-than-700-million-people-with-untreated-hypertension>.
- [4] World Health Organization. Hypertension China 2023 country profile [EB/OL]. [2025-06-29]. <https://www.who.int/publications/c?healthtopics=abfd3389-86dd-4a87-87f8-52ae4621895b&region-scountries=61f73a3c-a0ff-4bba-921a-e1509a54bac9>.
- [5] Calhoun DA, Jones D, Textor S, et al. Resistant hypertension: diagnosis, evaluation, and treatment: a scientific statement from the American Heart Association Professional Education Committee of the Council for High Blood Pressure Research[J]. Circulation, 2008, 117(25): e510-e526.
- [6] Achelrod D, Wenzel U, Frey S. Systematic review and meta-analysis of the prevalence of resistant hypertension in treated hypertensive populations [J]. American Journal of Hypertension, 2015, 28(3): 355-361.
- [7] Bangalore S, Fayyad R, Laskey R, et al. Prevalence, predictors, and outcomes in treatment-resistant hypertension in patients with coronary disease [J]. The American Journal of Medicine, 2014, 127(1): 71-81.
- [8] Whelton PK, Carey RM, Aronow WS, et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: a report of the American college of cardiology/American heart association task force on clinical practice guidelines [J]. Journal of the American College of Cardiology, 2018, 71(19): e127-e248.
- [9] World Health Organization. Hypertension Australia 2023 country profile [EB/OL]. [2025-06-29]. <https://www.who.int/publications/c?healthtopics=abfd3389-86dd-4a87-87f8-52ae4621895b&region-scountries=cadc5699-d8c4-4190-ab56-14824b2704de>.
- [10] World Health Organization. Hypertension France 2023 country profile [EB/OL]. [2025-06-29]. <https://www.who.int/publications/c?healthtopics=abfd3389-86dd-4a87-87f8-52ae4621895b&region-scountries=dfffa7d3-3921-413b-8e4e-d99b46d98099>.
- [11] Lopes S, Mesquita-Bastos J, Garcia C, et al. Aerobic exercise improves central blood pressure and blood pressure variability among patients with resistant hypertension: results of the EnRicH trial[J]. Hypertension Research, 2023, 46(6): 1547-1557.
- [12] Working Group on the Chinese Expert Consensus on Blood Pressure Management of Resistant Hypertension. Chinese expert consensus on blood pressure management of resistant hypertension [J]. Chinese Journal of Hypertension, 2024, 32(8): 704-709, 700.
- [13] Lasserson TJ, Thomas J, Higgins JPT. Chapter 1: Starting a review [EB/OL].[2025-06-29].<https://www.training.cochrane.org/handbook>.
- [14] Sterne JAC, Savović J, Page MJ, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials[J]. BMJ (Clinical Research ed.), 2019, 366: l4898.
- [15] Higgins J, Savović J, Page MJ, et al. Revised cochrane risk-of-bias tool for randomized trials (RoB 2)template for completion[EB/OL].[2025-06-29]. <https://www.riskofbias.info/welcome/rob-2-0-tool>.
- [16] 王鹏. 有氧运动对难治性高血压患者动态血压和运动能力的影响[J]. 沈阳体育学院学报, 2013, 32(5): 89-93. Wang P. Effects of endurance training on ambulatory blood pressure and exercise capacity in refractory hypertension patients [J]. Journal of Shenyang Sport University, 2013, 32(5): 89-93.(In Chinese)
- [17] 黄伟. 不同运动方式对顽固性高血压患者心血管自主神经功能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2014, 33(5): 431-439. Huang W. Effects of exercise mode on cardiovascular autonomic

- nervous function of patients with refractory hypertension [J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2014, 33(5): 431-439.(In Chinese)
- [ 18 ] 孙漾丽,白起君. 有氧运动对老年顽固性高血压患者心血管自主神经功能的影响 [J]. 中国老年学杂志,2015,35(16): 4600-4602.
- Sun YL, Bai QJ. Effects of aerobic exercise on cardiovascular autonomic function in elderly patients with refractory hypertension[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2015, 35 (16): 4600-4602. (In Chinese)
- [ 19 ] 李轶,王旭东,赵丽. 有氧运动对老年顽固性高血压患者心血管自主神经功能的影响[J]. 中国保健营养,2016,26(5):293.
- Li Y, Wang XD, Zhao L. Effects of aerobic exercise on cardiovascular autonomic function in elderly patients with refractory hypertension[J]. China Health Care & Nutrition, 2016, 26(5): 293.(In Chinese)
- [ 20 ] 周一前,毛丽娟. 有氧运动对老年顽固性高血压患者心血管自主神经功能的影响[J]. 中国实用医药,2019,14(10):127-129.
- Zhou YQ, Mao LJ. Effect of aerobic exercise on cardiovascular autonomic function in elderly patients with refractory hypertension[J]. China Practical Medical, 2019, 14(10): 127-129.(In Chinese)
- [ 21 ] Dimeo F, Pagonas N, Seibert F, et al. Aerobic exercise reduces blood pressure in resistant hypertension [J]. Hypertension, 2012, 60(3): 653-658.
- [ 22 ] Alves AJ, Garcia C, Lopes S, et al. A9989 effects of exercise training on 24-hour ambulatory blood pressure in resistant hypertension: preliminary results of the EnRich trial [J]. Journal of Hypertension, 2018, 36: e170.
- [ 23 ] Alves A, Garcia C, Lopes S, et al. Aerobic training decreases 24-hour and daytime ambulatory blood pressure in patients with resistant hypertension[J]. Journal of Hypertension, 2019, 37: e90.
- [ 24 ] Lopes S, Mesquita-Bastos J, Garcia C, et al. Aerobic exercise training reduces 24-hour ambulatory blood pressure in patients with resistant hypertension: a randomized controlled trial(EnRich trial)[J]. Journal of Hypertension, 2021, 39: e371-e372.
- [ 25 ] 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.
- [ 26 ] Dassanayake S, Sole G, Wilkins G, et al. Effectiveness of physical activity and exercise on ambulatory blood pressure in adults with resistant hypertension: a systematic review and Meta-Analysis [J]. High Blood Pressure & Cardiovascular Prevention, 2022, 29(3): 275-286.
- [ 27 ] 蓝林飞,李宗祥,漆秦可,等. 运动对顽固性高血压患者降压效果的 Meta 分析[J]. 福建体育科技,2023,42(1):37-44.
- Lan LF, Li ZX, Qi QK, et al. A Meta-analysis of the Effect of Exercise on Blood Pressure in Patients with Resistant Hypertension [J]. Fujian Sports Science and Technology, 2023, 42 (1): 37-44.(In Chinese)
- [ 28 ] Roque FR, Briones AM, García-Redondo AB, et al. Aerobic exercise reduces oxidative stress and improves vascular changes of small mesenteric and coronary arteries in hypertension [J]. British Journal of Pharmacology, 2013, 168 (3): 686-703.[29]De ciuceis C, Rizzoni D, Palatini P. Microcirculation and physical exercise in hypertension[J]. Hypertension, 2023, 80(4): 730-739.
- [ 30 ] Hoier B, Nordsborg N, Andersen S, et al. Pro - and anti - angiogenic factors in human skeletal muscle in response to acute exercise and training[J]. The Journal of Physiology, 2012, 590(3): 595-606.
- [ 31 ] Mahfoud F, Himmel F, Ukena C, et al. Treatment strategies for resistant arterial hypertension[J]. Deutsches Arzteblatt International, 2011, 108(43): 725-731.
- [ 32 ] Naci HSI, 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]. British Journal of Sports Medicine, 2019, 53(14): 859-869.
- [ 33 ] Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, et al. American college of sports medicine position stand. exercise and hypertension [J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2004, 36(3): 533-553.
- [ 34 ] Boutcher YN, Boutcher SH. Exercise intensity and hypertension: what's new? [J]. Journal of Human Hypertension, 2017, 31(3): 157-164.

收稿日期:2025-04-18

## (上接第 3595 页)

- lifestyle with social support and self-efficacy of the elderly in urban-rural communities[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Science), 2020, 40(1): 107-111.(In Chinese)
- [ 27 ] Xue YQ, Lu J, Zheng X, et al. The relationship between socioeconomic status and depression among the older adults: The mediating role of health promoting lifestyle [J]. Journal of Affective Disorders, 2021, 285: 22-28.
- [ 28 ] Burger K, Strassmann RD. Mental health, gender, and higher education attainment[J]. Z Erziehwiss, 2024, 27(1): 89-122.
- [ 29 ] Gomez-Baya D, Salinas-Perez JA, Rodero-Cosano ML, et al. Socioeconomic inequalities in health through lifestyles: analysing gender and age differences in andalusia, Spain [J]. Journal of Community Health, 2020, 45(4): 836-845.
- [ 30 ] 杨洋,孙铃,张红川,等. 适应负荷:社会经济地位影响健康的生理机制[J]. 心理科学进展,2018,26(8):1475-1487.
- Yang Y, Sun L, Zhang HC, et al. Allosatic load and its relationship with socioeconomic health disparities [J]. Advances in Psychological Science, 2018, 26(8): 1475-1487.(In Chinese)
- [ 31 ] 王雪辉,彭聪. 老年人社会经济地位对健康的影响机制研究——兼论生活方式、公共服务和社会心理的中介效应[J]. 中国卫生政策研究,2020,13(3):21-30.
- Wang XH, Peng C. Study on the impact mechanism of elderly socioeconomic status on health: The mediating effects of lifestyle, public service and social psychology [J]. Chinese Journal of Health Policy, 2020, 13(3): 21-30.(In Chinese)

收稿日期:2025-03-31