



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2400817

引用格式:张国栋,魏思昂,高金霞,等.基于Meta分析有氧运动与心血管疾病患者心脏功能、脂质代谢和炎症的关联性[J].科学技术与工程,2025,25(9):3604-3612.

Zhang Guodong, Wei Siang, Gao Jinxia, et al. Meta analysis of the correlation between aerobic exercise and cardiac function, lipid metabolism, and inflammation in patients with cardiovascular disease[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(9): 3604-3612.

医药、卫生

基于 Meta 分析有氧运动与心血管疾病患者 心脏功能、脂质代谢和炎症的关联性

张国栋¹, 魏思昂^{2,3}, 高金霞⁴, 何晖¹, 潘峰⁴, 谢艳丽^{1*}

(1. 山西农业大学体育部, 太谷 030801; 2. 山西农业大学生命科学院, 太谷 030801;

3. 复旦大学附属中山医院, 上海 200032; 4. 四川大学体育学院, 成都 610065)

摘要 为探索有氧运动与心血管疾病患者心脏功能、脂质代谢和炎症关联性,通过检索 PubMed、Embase、Scopus 和中国知网 (CNKI) 数据库中有氧运动与心血管疾病患者心脏功能、脂质代谢和炎症因子影响的相关研究,利用 RevMan5.4 和 R 软件进行 Meta 和关联性分析。结果表明:有氧运动显著降低了 B 型利钠肽 (B-type natriuretic peptide, BNP) [标准化均数差 (standardized mean difference, SMD) = -0.84, 95% CI (-1.34, -0.34), $P = 0.001$]、收缩压 (SBP) [SMD = -0.55, 95% CI (-0.86, -0.25), $P = 0.0004$] 和舒张压 (DBP) [SMD = -0.99, 95% CI (-1.67, -0.32), $P = 0.004$]、LDL [SMD = -0.53, 95% CI (-0.89, -0.18), $P = 0.003$] 和 C-反应蛋白 (CRP) [SMD = -0.53, 95% CI (-0.90, -0.16), $P = 0.005$]。CRP 和 HDL、LDL、DBP 呈正相关,相关系数分别为 0.35、0.26 和 0.28;CRP 与 SBP 呈负相关,相关系数为 -0.31。由此可见,心血管疾病患者参与有氧运动能够在一定程度改善心脏功能、脂质代谢和炎症因子水平,并且心脏功能和脂质代谢、炎症之间存在相关性。

关键词 有氧运动; 心血管疾病; 心脏功能; 脂质代谢; 炎症; C-反应蛋白; 关联性分析

中图分类号 R195.4;

文献标志码 A

Meta Analysis of the Correlation between Aerobic Exercise and Cardiac Function, Lipid Metabolism, and Inflammation in Patients with Cardiovascular Disease

ZHANG Guo-dong¹, WEI Si-ang^{2,3}, GAO Jin-xia⁴, HE Hui¹, PAN Feng⁴, XIE Yan-li^{1*}

(1. Department of Physical Education, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Life Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

3. Zhongshan Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200032, China;

4. College of Physical Education, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

[Abstract] To investigate the correlation between aerobic exercise and cardiac function, lipid metabolism, and inflammation in patients with cardiovascular disease, by searching PubMed, Embase, Scopus, and China National Knowledge Infrastructure (CNKI) databases for relevant studies on the effects of aerobic exercise on cardiac function, lipid metabolism, and inflammatory factors in patients with cardiovascular disease, Meta-analysis and correlation analysis were conducted using RevMan5.4 and R software. The results show that aerobic exercise significantly reduces B-type natriuretic peptide (BNP) [SMD = -0.84, 95% CI (-1.34, -0.34), $P = 0.001$], systolic blood pressure (SBP) [SMD = -0.55, 95% CI (-0.86, -0.25), $P = 0.0004$], and diastolic blood pressure (DBP) [SMD = -0.99, 95% CI (-1.67, -0.32), $P = 0.004$], LDL [SMD = -0.53, 95% CI (-0.89, -0.18), $P = 0.003$], and C-reactive protein (CRP) [SMD = -0.53, 95% CI (-0.90, -0.16), $P = 0.005$]. CRP is positively correlated with HDL, LDL, and DBP, with correlation coefficients of 0.35, 0.26, and 0.28, respectively. CRP is negatively correlated with SBP,

收稿日期: 2024-01-28 修订日期: 2024-12-04

基金项目: 国家体育科普基地 (GJTK024); 国家自然科学基金 (81700256)

第一作者: 张国栋 (1989—), 男, 汉族, 山东淄博人, 博士, 副教授。研究方向: 体育运动与健康促进。E-mail: 610089513@qq.com。

* 通信作者: 谢艳丽 (1988—), 女, 汉族, 山东聊城人, 硕士, 副教授。研究方向: 体育运动与健康促进。E-mail: 710015244@qq.com。

with correlation coefficients of -0.31 . From this, it can be seen that aerobic exercise can improve heart function, lipid metabolism, and levels of inflammatory factors to a certain extent in patients with cardiovascular diseases, and there is a correlation between heart function, lipid metabolism, and inflammation.

[**Keywords**] aerobic exercise; cardiovascular disease; cardiac function; lipid metabolism; inflammation; C-reactive protein; correlation analysis

心血管疾病是全球死亡的主要原因^[1]。尽管在过去的几十年里,心血管疾病的诊断和治疗策略取得了巨大进展,但其预后仍然相对较差,给全球医疗保健系统带来了沉重负担^[2]。近年来,随着生活和饮食习惯的改变,心血管疾病的发病率不断上升,已成为中国预防和治疗的疾病之一^[3]。改善脂质代谢、炎症因素,如高密度脂蛋白(high density lipoprotein, HDL)、低密度脂蛋白(low density lipoprotein, LDL)和 C-反应蛋白(C-reactive protein, CRP)等,是心血管疾病治疗过程的主要目标^[4-5]。

心脏是循环系统的中枢器官,它维持血液的流动以及营养物质向不同细胞和组织的运输^[6]。功能良好的心脏状态是一种复杂的可变模式,可根据机体代谢需求调控心脏的节律和收缩^[7]。B 型利钠肽(B-type natriuretic peptide, BNP)作为心肌拉伸标志物,被认为是心衰疾病预防、诊断、预后、管理和评估的标志物^[8]。血压与心血管风险存在密切的因果关系,当血压升高后,心血管系统可能会出现不适症状。如心脏负荷增加、血管壁损伤、血管内膜增厚等^[9]。有氧运动对脂质代谢和炎症的影响已经在临床试验中得到证实^[10]。然而,没有系统综述和 Meta 分析证实它们在心血管疾病患者中的影响。

运动训练(特别是有氧运动)作为一种现代康复医学重要的治疗手段之一,已经越来越多地被关注,因为它是一种低成本的治疗方法,与药物治疗相比,副作用的风险最小,并且能够产生许多对身体健康有益的结果^[5]。一些研究认为有氧运动对心血管患者的益处没有显著差异,而另一些研究认为有氧运动的效果对心血管患者具有治疗作用^[11]。为了解决这些争议,现采用随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)进行 Meta 分析,并在此基础上分析 BNP、收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)、HDL、LDL、CRP、白细胞介素-6(interleukin-6, IL6)的关联性,以期对心血管疾病的治疗和预防提供研究基础。

1 资料与方法

1.1 搜索策略

研究于 2023 年 6 月对文章进行搜索,并于

2024 年 1 月使用以下电子数据库进行更新:PubMed、Embase、Scopus 和 CNKI。搜索词包括“心血管疾病”“有氧运动”“有氧训练”“BNP”“SBP”“DBP”“LDL”“HDL”“CRP”“IL-6”以及相关中英文术语。搜索过程中没有任何时间和语言限制。只有符合条件的英文和中文文献才被考虑进行审查。该审查是根据系统审查和 Meta 分析的首选报告项目(preferred reporting items for systematic reviews and meta analyses, PRISMA)的指导方针进行。3 位独立作者回顾了每个阶段的研究,并根据 PRISMA 流程图(图 1)进行管理。然后决定纳入是否合适。3 名研究人员之间的任何分歧都通过共识得到解决,以确定是否纳入该研究。

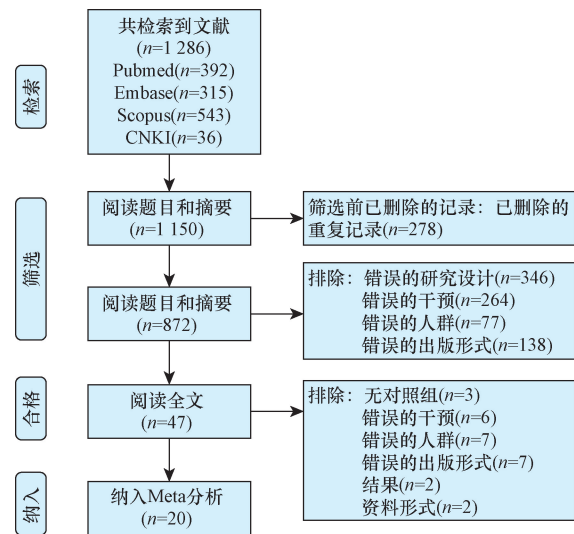


图 1 文献选择流程图

Fig. 1 Literature selection process diagram

1.2 研究资格

评估了心脏功能(BNP、SBP、DBP)、血液指标(LDL、HDL、CRP 和 IL-6)的临床试验作为纳入结果的依据。在这项研究中,有氧运动被认为是任何类型的训练。所有类型的动态阻力训练,无论强度、频率或训练持续时间如何,都被认为是合格的。

1.2.1 纳入标准

(1) 只纳入了 RCT,语言为中/英文,RCT 是一种测试一种治疗或药物在医疗保健中效果的手段,这通常被认为是临床证据的金标准。

(2) 所有心血管疾病患者,没有年龄限制,疾病类型包括急性(慢性)冠心病、心绞痛、心律失常、心力

衰竭,其原因为高血压、高脂血症、动脉粥样硬化等。

(3) 干预类型:需要对患者进行分组,包括至少 2 组,其中一组采用有氧训练,另一组为非干预,本研究可能有其他对照组(如常规运动组),但其数据不纳入 Meta 分析。

(4) 运动无其他干预措施。

1.2.2 排除标准

(1) 非原创文章(编辑信、简短报告、案例研究、方法、评论文章和系统回顾和 Meta 分析文章)。

(2) 动物研究。

(3) 无运动组研究。

(4) 无对照组研究。

(5) 运动组和/或对照组研究。

(6) 饮食干预研究。

(7) 加重重心衰相关药物,如非甾体抗炎药,钙通道阻滞剂和大多数抗心律失常药物。

(8) 没有提供干预与所选结果之间关联信息的研究。

(9) 纳入试验的重复发表或亚研究。

1.3 数据提取

任何分歧都通过所有团队人员之间的讨论并得到解决。每个研究的数据特征提取如下。

(1) 第一作者和年份。

(2) 国家。

(3) 参与者特征包括样本量、年龄和体重指数(body mass index, BMI)。

(4) 干预措施。

(5) 实验周期。

(6) 结果。包括 BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6。

将检验前和检验后的值(平均值和标准差)或平均值和标准差输入 Meta 分析,以生成森林图。如果没有报告平均值和标准差,则根据标准误差、中位数、范围和/或四分位数范围计算。如果研究有多个运动干预组,则包括有氧运动组与对照组、阻力组与对照组的数据。此外,对于有一个以上的测试后干预期进行评估的研究,只考虑了最后一段测试后干预期。

1.4 偏差风险评估

纳入研究的方法质量评估根据 Cochrane 提出的标准进行;适当使用随机序列、分配隐藏、参与者盲法,评估者对结果的盲法,以及损失和排除的描述。当这些过程在已发表的文档中被描述时,它被认为已经满足了标准,这些研究被归类为“低风险”偏倚,相反,那些不符合标准的研究被归类为“高风险”偏倚。未报告这些数据的研究被归类为“风险

不明确”。质量评估由 4 名评审员独立进行,分歧通过共识或第 5 位审核人解决。

1.5 资料分析

采用随机效应的 Meta 分析评估结果,合并 BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 评分变化的差异,并使用 95% CI 建立 BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 的随机效应模型。估计最终值的标准化平均差异,以避免使用不同测量和报告结果的效应差异。研究间的异质性采用 q 统计进行检验和 I^2 值进行量化。BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 之间的关联性用 Pearson 相关系数 P 进行表示。其中 n 为样本量,分别为两个变量的观测值和均值。绝对值越大表明相关性越强。取值在 $-1 \sim 1$,若 $P > 0$,表明两个变量是正相关,即一个变量的值越大,另一个变量的值也会越大;若 $P < 0$,表明两个变量是负相关,即一个变量的值越大另一个变量的值反而会越小。绝对值越大表明相关性越强,要注意的是这里并不存在因果关系。若 $P = 0$,表明两个变量间不是线性相关。计算公式为

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式(1)中: X 和 Y 为变量; n 为样本数量; X_i 和 Y_i 为第 i 个样本点值; \bar{X} 和 \bar{Y} 为所有样本点对应的平均值。

2 结果

2.1 纳入文献基本特征

在搜索策略中,通过在线数据库确定了 1 286 篇文献。去除重复文献后,鉴定出 1 150 篇文献,经过标题和摘要筛选后,1 239 篇被排除,纳入 47 篇文章。全文评审后最终纳入 20 篇^[12-31]进行分析。纳入文献流程如图 1 所示。涉及中国、美国、英国、爱沙尼亚和波兰等多个国家的 2 139 名心血管疾病患者,年龄范围为 16.4 ~ 76.5 岁,疾病类型包含动脉粥样硬化、冠心病、慢性心力衰竭和急性心肌梗死等。其中,有氧运动组和对照组分别有 1 110 人和 1 029 人。纳入文献基本特征如表 1 所示。

2.2 偏倚性质量结果

在纳入的 20 项研究^[12-31]中,英文文献 18 篇,中文文献 2 篇,文献发表日期为 2007—2022 年。其中 20 篇(100%)文献采用了随机序列法,19 篇(95%)文献进行了分配隐蔽性,15 篇(75%)文献设计了盲法,13 篇(65%)文献对结果进行盲法评估,16 篇(80%)文献具有完整的数据,17 篇(85%)文献为选择性报告,8 篇(40%)文献为其他偏倚性(图 2)。

表 1 纳入研究文献的基本特征

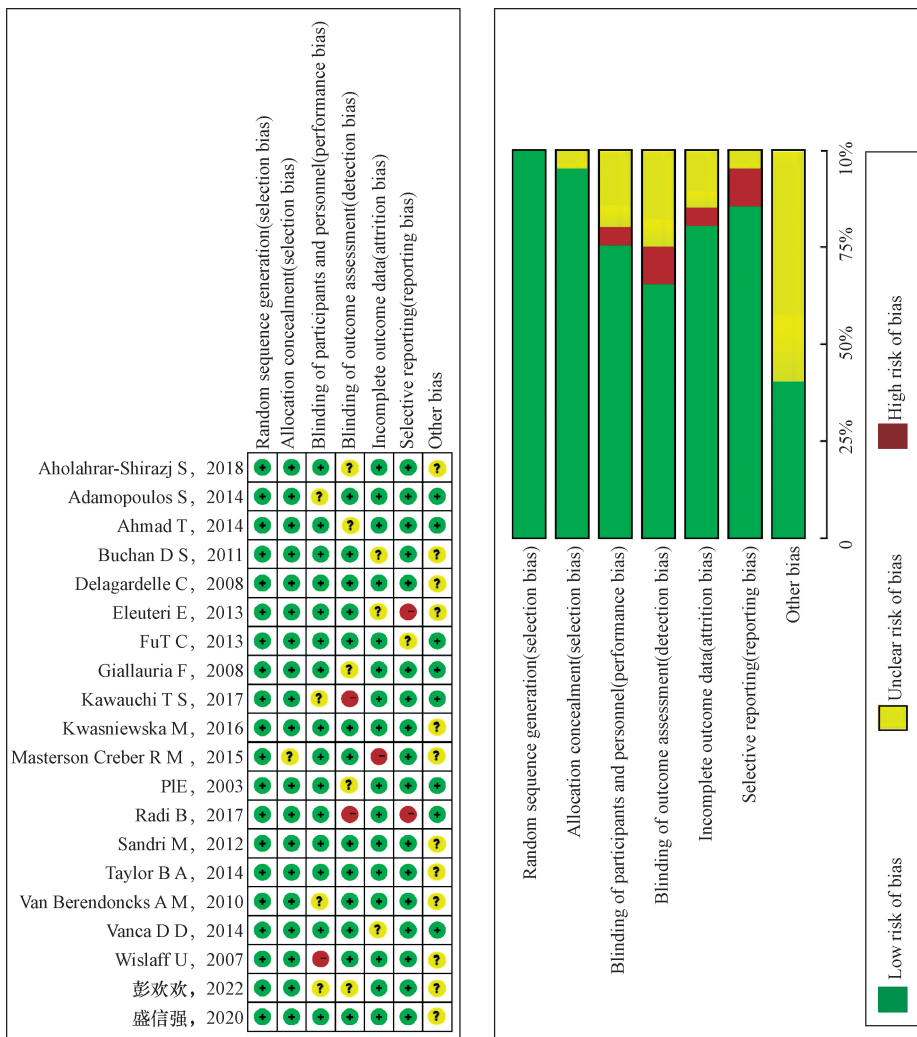
Table 1 Basic characteristics of included research literature

第一作者和年份	国家	疾病	基本特征			干预措施		周期	主要结果
			人数(实验组/对照)	基线年龄/岁	基线体质指数/(kg·m ⁻²)	实验	对照		
Buchan D S 等, 2011 年	英国	心血管	17/17	16.4 ± 6.07	21.6 ± 2.2	强化和耐力锻炼	无干预	7 周	SBP, DBP, HDL, LDL, CRP, IL-6
Taylor B A 等, 2014 年	美国	动脉粥样硬化	42/42	46 ± 13	24.0 ± 1.2	耐力锻炼	无干预	3 个月	SBP, DBP, HDL, LDL, CRP
Pihle 等, 2003 年	爱沙尼亚	心血管	29/24	48.0 ± 6.1	—	耐力运动	无干预	23.1 年	SBP, DBP, HDL, LDL, CRP
Vance D D 等, 2014 年	美国	心血管	19/22	18-45	—	耐力运动	无干预	17 周	SBP, DBP, HDL, LDL, CRP
Kwasniewska M 等, 2016 年	波兰	动脉粥样硬化	15/26	59.7 ± 9.0	24.3 ± 2.8	有氧运动	无干预	25 年	SBP, DBP, HDL, LDL, CRP
Abolahrari-shirazi S 等, 2018 年	伊朗	冠心病	25/25	57.32 ± 9.41	26.10 ± 3.86	有氧跑步	无任何干预	7 周	BNP, CRP
Ahmad T 等, 2014 年	英国	冠心病	477/451	59.0 ± 8.2	—	有氧运动	无任何干预	3 个月	BNP, CRP
Fu T C, 2013 年	中国	心衰	15/15	67.5 ± 1.8	—	有氧间歇训练	无任何干预	12 周	BNP, SBP, DBP, HDL, LDL
Adamopoulos S 等, 2014 年	比利时	慢性心力衰竭	21/22	57.8 ± 11.7	28.6 ± 6.7	有氧间歇训练	无任何干预	3 个月	BNP, SBP, CRP
Kawauchi T S 等, 2017 年	希腊	慢性心力衰竭	13/13	62 ± 12	27 ± 5	运动耐量训练	无任何干预	8 周	BNP
Radi B 等, 2017 年	印尼	心力衰竭	48/65	51.8 ± 2.5	—	有氧运动	无任何干预	2 年	BNP
Masterson Creber R M 等, 2015 年	美国	慢性心力衰竭	163/157	69.4 ± 7.2	28.2 ± 4.8	有氧运动	无任何干预	1 年	BNP, SBP, DBP, CRP
Giallauria F 等, 2008 年	意大利	心肌梗死	30/31	55.9 ± 3.1	25.6 ± 2.4	有氧运动	无任何干预	6 个月	BNP, SBP
Sandri M 等, 2012 年	德国	慢性心力衰竭	15/15	50 ± 19.36	29 ± 7.74	耐力训练	无任何干预	4 个月	SBP, DBP, BNP
Wisløff U 等, 2007 年	挪威	心力衰竭	9/9	76.5 ± 9	24.5 ± 3	有氧间隔训练	无任何干预	12 周	BNP, SBP, DBP, HDL, LDL
Van Berendoncks A M 等, 2010 年	比利时	慢性心力衰竭	46/46	57.5 ± 10.8	25.1 ± 4.4	耐力训练	无任何干预	4 个月	BNP
Delagardelle C 等, 2008 年	美国	缺血性慢性心力衰竭	45/15	59.3 ± 5.9	28.56 ± 4.9	有氧运动	无任何干预	1 年	BNP, SBP, DBP
Eleuteri E 等, 2013 年	意大利	慢性心力衰竭	11/10	66 ± 2	—	有氧运动训练	无任何干预	3 个月	BNP, CRP, IL-6
彭欢欢等, 2022 年	中国	急性心肌梗死	50/50	46.08 ± 7.97	24.49 ± 1.77	有氧运动	无任何干预	12 周	SBP, DBP, HDL, LDL
盛富强等, 2020 年	中国	冠心病	20/20	65.2 ± 5.8	25.8 ± 2.1	有氧运动	无任何干预	12 周	SBP, DBP, HDL, LDL

2.3 有氧运动对心血管患者心脏功能的有效性

为了显示有氧运动与心血管患者心脏功能的相关性, 研究对心脏功能指标 BNP、SBP 和 DBP 进行了分析。关于 BNP 的数据来自 13 项研究, 包括 1 788 名参与者, 其中有氧运动组 896 名, 对照组 892 名。BNP 异质性结果显示, $I^2 = 58\%$, $P < 0.000 01$, 因此, 选用随机效应模型。与对照组相比, 实验组 BNP 显著降低 ($P = 0.001$), 标准化均数差 (standardized mean difference, SMD) 为 -0.84 , 95% CI

($-1.34, -0.34$); 关于 SBP 水平的数据来自 14 项研究, 有氧运动组 468 名, 对照组 473 名。与对照组相比, 有氧运动显著降低了心血管患者的 SBP ($P = 0.001$), SMD 为 -0.55 , $I^2 = 77\%$ (表 2); 关于 DBP 水平的数据来自 12 项研究, 包括 837 名参与者, 实验组 417 名, 对照组 420 名。与对照组相比, 有氧运动显著降低了心血管患者的 DBP 水平 ($P = 0.004$), SMD 为 -0.99 , 95% CI ($-0.86, -1.67$), $I^2 = 94\%$ (表 2)。



random sequence generation(selection bias)表示随机序列产生(参与偏倚);allocation concealment(selection bias)表示分配隐藏(参与偏倚);blinding of participants and personnel(performance bias)表示参与者和研究人员的双盲情况(执行偏倚);blinding of participants and personnel(detection bias)表示参与者和研究人员的双盲情况(检测偏倚);incomplete outcome data(attrition bias)表示不全的结局数据(失访偏倚);selective reporting(reporting bias)表示选择性报告(报告偏倚);other bias表示其他偏倚

图2 纳入文献偏倚性分析图

Fig. 2 Analysis of bias in inclusion of literature

表2 有氧运动对心血管患者心脏功能的Meta分析结果
Table 2 Meta analysis results of aerobic exercise on cardiac function in cardiovascular patients

指标	相关相检验			异质性检验	
	SMD (95% CI)	Z	P	I ² /%	P
BNP	-0.84(-1.34, -0.34)	3.28	0.001 0	94	<0.000 01
SBP	-0.55(-0.86, -0.25)	3.56	0.000 4	77	<0.000 01
DBP	-0.99(-0.86, -1.67)	2.87	0.004 0	94	<0.000 01

2.4 有氧运动对心血管患者脂质和炎症因子的有效性

脂质和炎症因子在心血管患者的健康中起着重要作用。研究对心血管患者 HDL、LDL、CRP 和 IL-6 进行了分析(表 3), 9 项研究提供了有关 HDL 水平的数据, 这些研究包括 441 名参与者, 实验组 216 名, 对照组 225 名。与对照组相比, 有氧运动提

高了心血管患者 HDL 水平, SMD 为 -0.22, 95% CI (-0.29, -0.72), 但是并不具有统计学意义 (P = 0.40); 9 项研究提供了有关 LDL 水平的数据, 包括 243 名有氧运动者, 对照组 258 名, 有氧运动显著降低心血管患者 LDL 水平, SMD 为 -0.53, 95% CI (-0.89, -0.18) (P = 0.003); 有关 CRP 的数据来自 10 项研究, 包括 1 643 名参与者, 有氧运动组 829 名, 对照组 814 名。有氧运动显著降低心血管患者 CRP 水平 SMD 为 -0.53, 95% CI (-0.90, -0.16), (P = 0.005); 关于 IL-6 的数据来自 2 项研究, 有氧运动组 28 名, 对照组 27 名。有氧运动降低了心血管患者 IL-6 水平, SMD 为 -0.23, 95% CI (-0.76, 0.30), 但是并不具有统计学意义 (P = 0.40)。

表 3 有氧运动对心血管患者脂质和炎症因子的 Meta 分析结果

Table 3 Meta analysis results of aerobic exercise on lipids and inflammatory factors in cardiovascular patients

指标	相关相检验			异质性检验	
	SMD (95% CI)	Z	P	I ² /%	P
HDL	-0.22(-0.29, -0.72)	0.85	0.400	84	<0.000 01
LDL	-0.53(-0.89, -0.18)	2.96	0.003	71	0.000 5
CRP	-0.53(-0.90, -0.16)	2.79	0.005	88	<0.000 01
IL-6	-0.23(-0.76, 0.30)	0.85	0.040	0	0.99

2.5 纳入文献指标特征及相关性

为了进一步分析各项指标在心血管患者的关联性,研究对各文献纳入指标变化水平的状况和关联性进行了分析。图 3(a)显示纳入文献中 BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 变化差异,在运动后,BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 均有不同程度降低,特别是心衰标志物 BNP 显著降低,心脏功能得到明显改善。图 3(b)采用 R 包绘制热图,分析 BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 相关性。红色系表示两个基因之间呈正相关,蓝色系表示两个基因之间呈负相关,每一格中的数字表示相关系数。在有氧运动干预心血管患者情况下, HDL 和 LDL 呈正相关,相关系数为 0.78; SBP 和 DBP 呈正相关,相关系数为 0.73; CRP 和 HDL、LDL、DBP 呈正相关,相关系数分别为 0.35、0.26 和 0.28; CRP 与 SBP 呈负相关,相关系数为 -0.31。SBP 与 HDL、LDL 呈负相关,相关系数分别为 -0.25、-0.23。

3 讨论

先前已有研究分析有氧运动与心血管疾病之间的关系^[32-34]。但是很少有研究关注有氧运动对心脏功能、脂质代谢和炎症之间的关联。研究主要证实了以下结论:

(1)有氧运动降低了心血管患者 BNP 水平,提高心脏收缩和舒张功能。

(2)有氧运动降低了心血管患者 LDL 和 CRP 水平。

(3)在心血管患者中, HDL、LDL 和 SBP、DBP 呈正相关; CRP 与 HDL、LDL、DBP 呈正相关,和 SBP 呈负相关。

与其他 Meta 分析而言,纳入心衰标志物 BNP 并对心血管疾病患者风险因子关联性分析是本研究的区别。

研究报道显示内源性多肽标记物,如 BNP,主要由心脏组织分泌^[35-36]。内源性多肽对心血管系统起着重要生理调控作用,如血管舒张和利钠肽作用^[37]。最近关于 BNP 的临床研究报道显示,心衰患者体内 BNP 在左心室拉伸、壁应力和心肌拉伸增加的病理生理起重要作用^[38],心血管患者运动训练后 BNP 水平显著下降^[39]。在研究中,有氧运动显著降低 BNP 在心血管患者水平,这与之前的研究^[40]结果一致。SBP 和 DBP 是心脏处于收缩和舒张时血流对血管壁产生的压力值,是评估心脏功能健康特征的重要指标。在心血管患者中,SBP 的升高

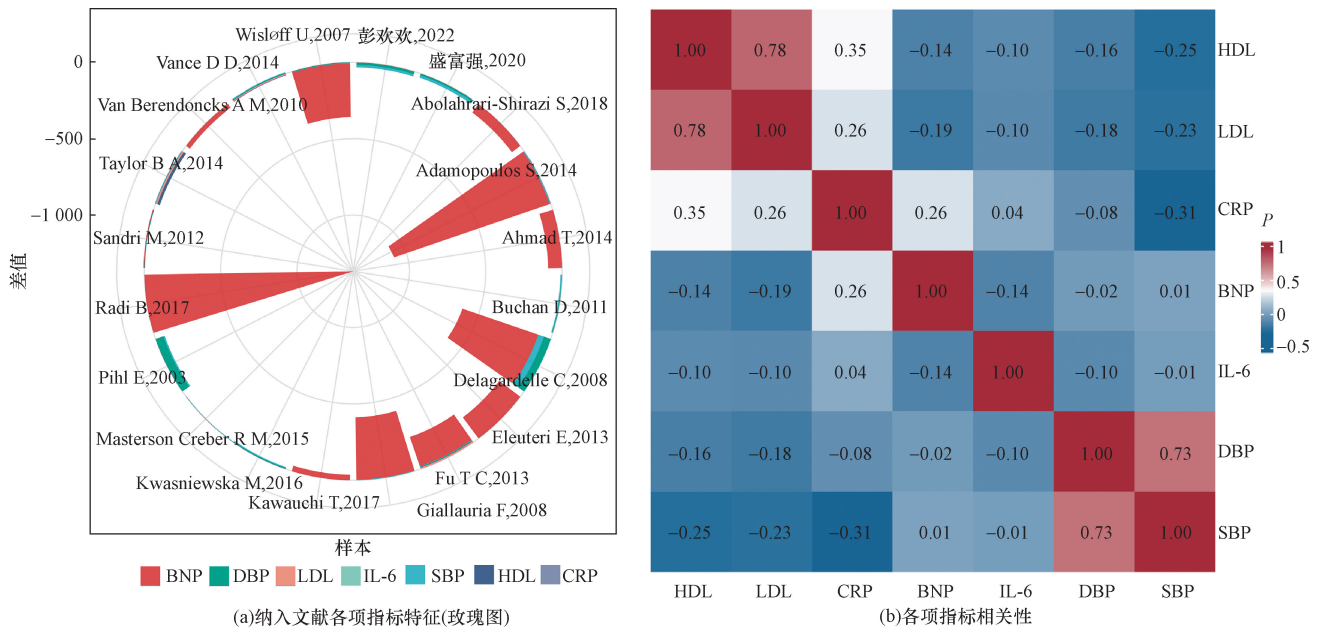


图 3 各项指标相关性

Fig. 3 Correlation of various indicators

增加了死亡风险, DBP 对死亡率影响不大, 本研究中, 有氧运动显著降低心血管患者血压指标 (SBP 和 DBP) 水平 ($P < 0.05$), 这项研究证实了有氧运动对心血管患者心脏功能和生存具有积极意义。

LDL 是冠状动脉粥样硬化疾病的独立危险因素 (增加 1% ~ 2% 可导致心血管风险升高 2% ~ 4%)^[41]。在研究中, 有氧运动显著降低脂质 LDL 水平 ($P = 0.004$), 这表明有氧运动可能是冠状动脉粥样硬化、血脂异常和代谢综合征的潜在治疗方法。此外, 考虑到脂质和心血管风险之间的关联没有较低的阈值^[42], 在基线时具有最佳脂质浓度的个体中, 这种程度的改善似乎仍然具有临床意义。CRP 作为全身炎症的一个重要标志, Fedewa 等^[43]的研究分析了运动对 CRP 的影响, 发现无论年龄和性别差异, 运动均能改善体内 CRP 水平^[44]。这与本研究结果一致, 有氧运动训练导致 CRP 水平下降 ($P = 0.005$), 这为临床治疗心血管疾病提供重要意义。

关联性分析显示 CRP 与脂质水平因子 HDL、LDL 呈正相关, 表明有氧运动可能通过调控心血管患者 CRP 进而降低 HDL 和 LDL 水平; CRP 与 SBP 呈负相关, 表明机体炎症水平同样影响了心脏收缩功能, CRP 与 BNP 的正向调控关系也正好说明了这一观点。总之, 通过关联分析表明 CRP 可能是心血管疾病发生和死亡的关键因子。因此, 对于心血管疾病的治疗中针对 CRP 为靶点的药物可能是一个不错的思路。但是关于有氧运动过程中炎症因子 CRP 对心血管患者的调控脂质代谢和心脏生理功能的水平是有限的, 并不能替代药物治疗的作用。

虽然这项研究的结果在基础和临床均有积极意义, 但必须从以下潜在的局限性来看待。首先, 应该强调许多实验的方法学质量较差。其次, 尽管在主要结果中观察到很大程度的异质性, 但基于敏感性分析和元回归, 仍无法确定这种异质性的任何重要来源。像所有的综述一样, Meta 分析也受到可用或可获得数据的限制。

该研究意义在于使用 Meta 分析方法来检验有氧运动对心血管患者心脏功能、脂质和炎症的影响。并进一步对纳入指标 BNP、SBP、DBP、HDL、LDL、CRP 和 IL-6 进行关联性分析, 通过对纳入指标潜在作用的分析, 为理解有氧运动在调控心血管疾病的分子机制提供研究基础。

4 结论

综上所述, 研究结果表明, 有氧运动可改善心血管患者的心脏功能 (BNP、SBP 和 DBP), 降低脂质 (LDL) 和炎症标志物 (CRP) 水平。CRP 作为心血

管事件和死亡风险的关键因子, 参与脂质和心脏生理调控过程中, 调控 HDL、LDL、BNP、SBP 水平, 改善心血管患者的代谢具有积极作用。因此, CRP 可能是改善心血管患者脂质代谢异常和心衰结局的一种潜在的治疗靶点。

参 考 文 献

- [1] Liu G, Xie X, Liao W, et al. Ferroptosis in cardiovascular disease [J]. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 2024, 170: 116057.
- [2] 李小辉, 魏思昂, 陈树嘉, 等. 中国城乡居民饮食结构改变与心血管疾病相关性分析 [J]. *中国食物与营养*, 2023, 29(2): 81-84.
Li Xiaohui, Wei Siang, Chen Shujia, et al. Analysis of the correlation between changes in dietary structure of urban and rural residents in China and cardiovascular diseases [J]. *Chinese Food and Nutrition*, 2023, 29(2): 81-84.
- [3] Garcia R D, Asensio J A, Perdicario D J, et al. The role of inflammation as a preponderant risk factor in cardiovascular diseases [J]. *Current Vascular Pharmacology*, 2022, 20(3): 244-259.
- [4] Shaya G E, Leucker T M, Jones S R, et al. Coronary heart disease risk: low-density lipoprotein and beyond [J]. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 2022, 32(4): 181-194.
- [5] Chen H, Chen C, Spanos M, et al. Exercise training maintains cardiovascular health: signaling pathways involved and potential therapeutics [J]. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2022, 7(1): 306-315.
- [6] Kim J H. *Heart and circulatory system* [M]. Amsterdam: Elsevier, 2022.
- [7] Makarewich C A, Munir A Z, Bezprozvannaya S, et al. The cardiac-enriched microprotein mitolamban regulates mitochondrial respiratory complex assembly and function in mice [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2022, 119(6): e2120476119.
- [8] Rodeheffer R J. Measuring plasma B-type natriuretic peptide in heart failure: good to go in 2004? [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2004, 44(4): 740-749.
- [9] Tsai T Y, Leu H B, Hsu P F, et al. Association between visit-to-visit blood pressure variability and adverse events in coronary artery disease patients after coronary intervention [J]. *Journal of Clinical Hypertension*, 2022, 24(10): 1327-1338.
- [10] Pedersen L R, Olsen R H, Anholm C, et al. Effects of 1 year of exercise training versus combined exercise training and weight loss on body composition, low-grade inflammation and lipids in overweight patients with coronary artery disease: a randomized trial [J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2019, 18(1): 127-142.
- [11] Elmasri I, Kayali S M, Blount C, et al. Is exercise helpful or harmful in dealing with specific arrhythmia? [J]. *Current Problems in Cardiology*, 2021, 46(3): 100740.
- [12] Buchan D S, Ollis S, Young J D, et al. The effects of time and intensity of exercise on novel and established markers of CVD in adolescent youth [J]. *American Journal of Human Biology*, 2011, 23(4): 517-526.
- [13] Taylor B A, Zaleski A L, Capizzi J A, et al. Influence of chronic exercise on carotid atherosclerosis in marathon runners [J]. *BMJ Open*, 2014, 4(2): e004498.
- [14] Pihl E, Zilmer K, Kullisaar T, et al. High-sensitive C-reactive

- protein level and oxidative stress-related status in former athletes in relation to traditional cardiovascular risk factors [J]. *Atherosclerosis*, 2003, 171(2): 321-326.
- [15] Vance D D, Chen G L, Stoutenberg M, et al. Cardiac performance, biomarkers and gene expression studies in previously sedentary men participating in half-marathon training [J]. *BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation*, 2014, 6(1): 6-16.
- [16] Kwasniewska M, Kostka T, Jegier A, et al. Regular physical activity and cardiovascular biomarkers in prevention of atherosclerosis in men: a 25-year prospective cohort study [J]. *BMC Cardiovascular Disorders*, 2016, 16: 65-74.
- [17] Abolahrari-shirazi S, Kojuri J, Bagheri Z, et al. Efficacy of combined endurance-resistance training versus endurance training in patients with heart failure after percutaneous coronary intervention: a randomized controlled trial [J]. *Journal of Research in Medical Sciences*, 2018, 23: 12-19.
- [18] Ahmad T, Fiuzat M, Mark D B, et al. The effects of exercise on cardiovascular biomarkers in patients with chronic heart failure [J]. *American Heart Journal*, 2014, 167(2): 193-202.
- [19] Fu T C, Wang C H, Lin P S, et al. Aerobic interval training improves oxygen uptake efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics in patients with heart failure [J]. *International Journal of Cardiology*, 2013, 167(1): 41-50.
- [20] Adamopoulos S, Schmid J P, Dendale P, et al. Combined aerobic/inspiratory muscle training vs. aerobic training in patients with chronic heart failure: the Vent-HeFT trial: a European prospective multicentre randomized trial [J]. *European Journal of Heart Failure*, 2014, 16(5): 574-582.
- [21] Kawauchi T S, Umeda I I K, Braga L M, et al. Is there any benefit using low-intensity inspiratory and peripheral muscle training in heart failure? a randomized clinical trial [J]. *Clinical Research in Cardiology*, 2017, 106(9): 676-685.
- [22] Radi B, Santoso A, Siswanto B, et al. Early exercise program for patients with heart failure after hospital discharge [J]. *International Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2017(5): 2-13.
- [23] Masterson-Creber R M, Lee C S, Margulies K, et al. Identifying biomarker patterns and predictors of inflammation and myocardial stress [J]. *Journal of Cardiac Failure*, 2015, 21(6): 439-445.
- [24] Giallauria F, Cirillo P, Lucci R, et al. Left ventricular remodeling in patients with moderate systolic dysfunction after myocardial infarction: favourable effects of exercise training and predictive role of N-terminal pro-brain natriuretic peptide [J]. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, 2008, 15(1): 113-118.
- [25] Sandr M, Kozarez I, Adams V, et al. Age-related effects of exercise training on diastolic function in heart failure with reduced ejection fraction: the leipzig exercise intervention in chronic heart failure and aging (LEICA) diastolic dysfunction study [J]. *European Heart Journal*, 2012, 33(14): 1758-1768.
- [26] Wisløff U, Støylen A, Loennechen J P, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study [J]. *Circulation*, 2007, 115(24): 3086-3094.
- [27] Van Berendoncks A M, Beckers P, Hoymans V Y, et al. Exercise training reduces circulating adiponectin levels in patients with chronic heart failure [J]. *Clinical Science*, 2010, 118(4): 281-289.
- [28] Delagardelle C, Feiereisen P, Vaillant M, et al. Reverse remodeling through exercise training is more pronounced in non-ischemic heart failure [J]. *Clinical Research in Cardiology*, 2008, 97(12): 865-871.
- [29] Eleuteri E, Mezzani A, Distefano A, et al. Aerobic training and angiogenesis activation in patients with stable chronic heart failure: a preliminary report [J]. *Biomarkers*, 2013, 18(5): 418-424.
- [30] 彭欢欢, 陈丽华, 黄丽, 等. 基于有氧运动联合抗阻运动的延续性家庭护理干预对中青年 PCI 术后病人心脏康复的影响 [J]. *护理研究*, 2022, 36(22): 4120-4125.
- Peng Huanhuan, Chen Lihua, Huang Li, et al. The impact of continuous home care intervention based on aerobic exercise combined with resistance exercise on the cardiac rehabilitation of middle-aged and young patients after PCI [J]. *Nursing Research*, 2022, 36(22): 4120-4125.
- [31] 盛富强, 周仁娣, 朱云霞, 等. 有氧运动对脑卒中合并冠心病患者运动能力及血脂的影响 [J]. *海南医学*, 2020, 31(19): 2462-2466.
- Sheng Fuqiang, Zhou Rendí, Zhu Yunxia, et al. The effect of aerobic exercise on exercise ability and blood lipids in stroke patients with coronary heart disease [J]. *Hainan Medicine*, 2020, 31(19): 2462-2466.
- [32] Reed J L, Terada T, Cotie L M, et al. The effects of high-intensity interval training, Nordic walking and moderate-to-vigorous intensity continuous training on functional capacity, depression and quality of life in patients with coronary artery disease enrolled in cardiac rehabilitation: a randomized controlled trial (CRX study) [J]. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 2022, 70: 73-83.
- [33] 时文霞, 刘海斌, 曾玉冰, 等. 有氧运动对肥胖青少年颈总动脉血液动力学指标的影响 [J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(14): 78-83.
- Shi Wenxia, Liu Haibin, Zeng Yubing, et al. The effects of aerobic exercise on common carotid artery hemodynamics in obese adolescents [J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(14): 78-83.
- [34] Ismail K, Bayley A, Twist K, et al. Reducing weight and increasing physical activity in people at high risk of cardiovascular disease: a randomised controlled trial comparing the effectiveness of enhanced motivational interviewing intervention with usual care [J]. *Heart*, 2020, 106(6): 447-454.
- [35] Chen B, Chang P, Shen X, et al. Cardiac-specific deletion of natriuretic peptide receptor A induces differential myocardial expression of circular RNA and mRNA molecules involved in metabolism in mice [J]. *Molecular Medicine Reports*, 2021, 23(1): 50-65.
- [36] 张璩方, 高丽, 李超, 等. 黄芪丹参配伍提取物对大鼠心肌梗死后心室重构的影响 [J]. *科学技术与工程*, 2018, 18(30): 145-149.
- Zhang Zhifang, Gao Li, Li Chao, et al. Effects of *Astragalus* and *Salvia miltiorrhiza* extract on ventricular remodeling after myocardial infarction in rats [J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, 18(30): 145-149.
- [37] Tan M, Yin Y, Ma X, et al. Glutathione system enhancement for cardiac protection: pharmacological options against oxidative stress and ferroptosis [J]. *Cell Death and Disease*, 2023, 14(2): 131-

- 146.
- [38] Gottdiener J S, Seliger S, Defilippi C, et al. Relation of biomarkers of cardiac injury, stress, and fibrosis with cardiac mechanics in patients ≥ 65 years of age [J]. *American Journal of Cardiology*, 2020, 136: 156-163.
- [39] Taya M, Amiya E, Hatano M, et al. High-intensity aerobic interval training can lead to improvement in skeletal muscle power among in-hospital patients with advanced heart failure [J]. *Heart Vessels*, 2018, 33(7): 752-759.
- [40] Malandish A, Ghadamyari N, Karimi A, et al. The role of exercise training on cardiovascular peptides in patients with heart failure: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Current Research in Physiology*, 2022, 5: 270-286.
- [41] Grundy S M, Stone N J, Bailey A L, et al. 2018 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA guideline on the management of blood cholesterol: a report of the American college of cardiology/American heart association task force on clinical practice guidelines [J]. *Circulation*, 2019, 139(25): 1082-1143.
- [42] 李冰. 长期有氧运动对肥胖青少年血糖、血脂及体重的影响 [J]. *科学技术与工程*, 2017, 17(4): 154-157, 162.
- Li Bing. The effects of long-term aerobic exercise on blood glucose, blood lipids, and weight in obese adolescents [J]. *Science Technology and Engineering*, 2017, 17(4): 154-157, 162.
- [43] Fedewa M V, Spencer S O, Williams T D, et al. Effect of branched-chain amino acid supplementation on muscle soreness following exercise: a Meta-analysis [J]. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 2019, 89(5/6): 348-356.
- [44] Selvaraj S, Bhatt D L, Steg P G, et al. Impact of icosapent ethyl on cardiovascular risk reduction in patients with heart failure in REDUCE-IT [J]. *Journal of the American Heart Association*, 2022, 11(7): e024999.