

低氧运动对肥胖成人身体成分和胰岛素抵抗影响的 Meta 分析

王 盼¹, 赵 华², 张传勇¹

(1. 武汉生物工程学院 体育学院, 湖北 武汉 430415; 2. 华中师范大学 体育学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: **目的** 运用 Meta 分析定量评价低氧运动对肥胖成人身体成分和胰岛素抵抗的干预效果。**方法** 在中英文数据库中检索低氧运动与肥胖相关的随机对照试验, 并运用 Stata14.0 进行数据分析。**结果** 研究共纳入 24 篇文献、548 名受试者。Meta 分析结果, 相对于常氧运动, 低氧运动对减轻肥胖者的体重 ($WMD=-1.60, p<0.05$)、降低体脂率 ($WMD=-1.21, p<0.01$) 具有显著优势。低氧运动对胰岛素抵抗 ($ES=-0.22$)、空腹胰岛素 ($WMD=-0.24$) 和 HbA1c ($WMD=-0.27$) 的改善效果达到小效应量, 对改善空腹血糖 ($WMD=-0.03$) 无明显差异。调节变量结果, 在 1 500 ~ 3 500 m 进行运动对改善体重、体脂率效果最明显 ($WMD=-1.60, p<0.05$; $WMD=-1.21, p<0.01$)。≥4 周运动对改善体重、体脂率效果最明显 ($WMD=-1.90, p<0.05$; $WMD=-1.31, p<0.01$)。每周 ≥300 h 对改善体重、体脂率效果最明显 ($WMD=-1.92, p<0.05$; $WMD=-1.41, p<0.01$)。**结论** 低氧运动可以改善肥胖者的身体成分。在 1 800 ~ 3 500 m 海拔高度的低氧环境中进行锻炼, 达到 4 周, 每周至少 300 h 对改善肥胖者身体成分的效果显著。

关键词: 低氧运动; 肥胖; 胰岛素抵抗; 身体成分; Meta 分析

中图分类号: G804.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-983X(2024)01-0052-08

Effects of Hypoxic Exercise on Body Composition and Insulin Resistance in Obese Adults: A Meta-analysis

WANG Pan¹, ZHAO Hua², ZHANG Chuanyong¹

(1. Wuhan University of Bioengineering, Wuhan Hubei, 430415; 2. School of Physical Education and Sports, Central China Normal University, Wuhan Hubei, 430079)

Abstract: **Objective** To quantitatively evaluate the efficacy of hypoxic exercise on body composition and insulin resistance in obese adults through Meta-analysis. **Methods** Randomized controlled trials related to hypoxic exercise and obesity were searched in Chinese and English databases, and Stata14.0 was used for data analysis. **Results** A total of 24 documents and 548 subjects were included in the study. Meta-analysis results show that compared with normoxic exercise, hypoxic exercise has significant advantages in reducing the weight of obese people ($WMD=-1.60, p<0.05$) and reducing body fat rate ($WMD=-1.21, p<0.01$). Hypoxic exercise has a small effect size on improving insulin resistance ($ES=-0.22$), fasting insulin ($WMD=-0.24$) and HbA1c ($WMD=-0.27$), and no significant difference in improving fasting blood glucose ($WMD=-0.03$). Adjusting variable results, that exercise between 1,500 and 3,500 m has the most obvious effect on improving body weight and body fat rate ($WMD=-1.60, p<0.05$; $WMD=-1.21, p<0.01$). Above ≥4 weeks of exercise has the most obvious effect on improving body weight and body fat rate ($WMD=-1.90, p<0.05$; $WMD=-1.31, p<0.01$). Above ≥300 hours per week has the most obvious effect on improving body weight and body fat rate ($WMD=-1.92, p<0.05$; $WMD=-1.41, p<0.01$). **Conclusion** Hypoxic exercise can significantly improve body composition in obese individuals. Exercising at a plateau of 1,800~3,500 m or hypoxic environment at the same altitude, at least 4 weeks and at least 300 hours per week, has the best effect on improving the body composition of obese people.

Keywords: hypoxic exercise; obesity; HOMA-IR; body composition; meta-analysis

收稿日期: 2023-07-17

基金项目: 湖北省科技攻关计划(2021484)。

第一作者简介: 王 盼(1995~), 男, 湖北襄阳人, 硕士, 助教, 研究方向: 体质干预与健康促进。

通讯作者简介: 赵 华(1981~), 男, 湖北荆州人, 博士, 副教授, 研究方向: 运动适应与内分泌机制研究, E-mail: zhaohua@ccnu.edu.cn。

肥胖被视为 21 世纪全球公共性疾病, 截至 2014 年, 我国肥胖和严重肥胖总人口达到 1 亿人次^[1], 肥胖率约为 7.2%。肥胖机体所伴随长期的高血糖、高血脂会导致胰岛素传导代谢途径出现障碍, 最终诱发胰岛素抵抗。目前, 限制热量摄入、增加运动消耗、调整饮食已是减肥常用手段, 但肥胖患者经过 6 个月的饮食运动方案干预后出现平台期, 体重不再下降甚至出现反弹^[2]; 此外, 肥胖患者运动减肥中, 因功能性下降、额外

体重而提高下肢关节损伤风险^[3]。

各国学者对高山/高原、人工低氧研究发现:1)高原活动时,受试者出现体重减轻、体脂率下降现象^[4-6];2)在低氧暴露初期,受试者饥饿感下降、食欲减退,食物偏好改变^[7],低氧刺激显著地增加瘦素浓度,抑制食欲、减少热量摄入,从而降低体重^[8-9];3)动物实验发现低氧环境下暴露或运动更能缓解胰岛素抵抗^[10-11]。以上研究提示低氧暴露、低氧环境下运动对肥胖者身体成分以及胰岛素抵抗改善效果更佳,并提高健康水平。此外,常氧环境下中等强度运动也能够改善肥胖者的体重、体脂率等指标,因此提出问题:运动结合低氧是否比常氧环境下运动更能改善肥胖者健康水平。近年来,国内外学者针对低氧运动与肥胖进行了较多的人体实验研究,但对肥胖成人身体成分和胰岛素抵抗影响未达成共识。本研究通过 Meta 分析,定量评价低氧运动对肥胖者的身体成分和胰岛素抵抗干预效果,为运动促进机体健康提供新思路。

1 研究方法

1.1 文献检索

检索中国知网、万方、维普、PubMed、Web of Science、Cochran Library、Embase 中英文数据库,从 1990-01-01 到 2022-04-06 所有相关文献。使用 MeSH 主题词+自由词进行检索,中文检索关键词为“肥胖”“低氧运动”“高原训练”等。英文检索关键词为“obesity”“hypoxic training”“altitude training”等。

1.2 文献纳入与排除

按照 PICOS 原则制定纳入和排除标准。纳入标准:1)研究对象:18 岁以上肥胖人群,且无心血管、糖尿病等慢性疾病的人群;受试者均生活在平原地区,无高原或低氧训练经历。2)研究类型:语言为中英文的随机对照试验。3)干预措施为低氧/高原环境下运动,对照措施为平原/常氧环境下运动。4)结局指标:体重、体脂率;胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)、糖化血红蛋白(HbA1c)、空腹胰岛素(Fasting Insulin, FINS)、空腹血糖(Fasting Blood Glucose, FBG)。排除标准:1)病例报告、会议摘要、系统评价类研究;2)同一数据重复公开发表的研究;3)实验数据缺失或未采用均值、标准差呈现的研究。

1.3 文献数据提取与质量评估

根据纳入与排除标准对所有文献进行单独筛选,提取和录入符合标准的文献。包括:一般资料(作者、发表时间)、基线资料(年龄、样本数量)、运动方案(时间、频率、周期)、身体成分(体重、体脂率)和胰岛素抵抗指数(空腹血糖、空腹胰岛素)等相关数据。通过空腹血糖和空腹胰岛素计算胰岛素抵抗指数:

$$\text{HOMA-IR} = \frac{\text{FBG}(\text{mmol/L}) * \text{FINS}(\text{mIU/L})}{22.5}。$$

研究人员采用 Cochrane 偏倚风险评估量表对纳入文献进行评价,包括:随机分配方法、分配方案隐藏、受试者和参与者盲法、结果评估盲法、结果数据的完整性、选择性报告研究结果、其他偏倚来源 7 个条目,每个条目采用低风险、不清楚、高风险进行评价。

1.4 统计学分析

采用 Stata14.0 和 Revman5.4 软件进行数据分析。

异质性检验:纳入研究进行 I^2 和 Q 检验,若各研究间无异

质性($I^2 \leq 50\%$ 且 $p \geq 0.1$),采用固定效应模型合并分析;若各研究间存在异质性($I^2 > 50\%$ 或 $p < 0.1$),采用敏感性分析探讨异质性来源。

敏感性分析:Stata14.0 敏感性分析模块对文献间异质性进行查找,剔除某文献后重新合并剩余文献,若 $I^2 \leq 50\%$ 且 $p \geq 0.1$,采用固定效应模型;若依然存在 $I^2 > 50\%$ 或 $p < 0.1$,采用随机效应模型合并效应量。

发表偏倚检验:采用漏斗图、Egger 线性回归法、Begg 秩相关法进行发表偏倚检验。若漏斗图对称,Egger 检验 $p > 0.1$ 值大于 0.05,Begg 检验中 $Z < 1.96$ 且 $P > 0.05$,提示无发表偏倚^[12]。反之,纳入文献之间存在发表偏倚,需要通过剪补法消除发表偏倚。

效应量描述:采用均值差(WMD)描述效应量,并以 95% 置信区间表示, $p < 0.05$ 表示有统计学意义。另外,依据不同效应尺度衡量各指标的改善效果^[13]: $0.2 \leq \text{WMD} < 0.5$ 为小效应, $0.5 \leq \text{WMD} < 0.8$ 为中等效应, $\text{WMD} \geq 0.8$ 为大效应。

2 研究结果

2.1 文献检索结果

通过检索得到文献 2 190 篇。第一步,查找重复文献并剔除,得到 1 770 篇文献;第二步,阅读题目和摘要,初筛得到潜在文献 54 篇;第三步,下载全文并阅读,最终纳入文献 24 篇。文献筛选流程见(图 1)。

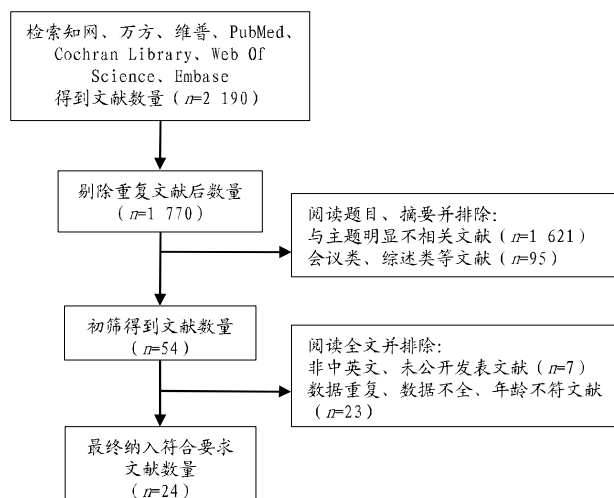


图 1 本研究文献纳入的过程示意图

本 Meta 分析纳入文献数量 $N_1=24$, 样本量 $N_2=548$, 年龄范围 18~70 岁。首先,运动干预类型主要为:1)跑步、徒步等中低强度有氧运动;2)深蹲、硬拉等抗阻运动。其次,海拔高度仅有 1 篇文献^[14]模拟高海拔 3 700 m,其余均为海拔高度 1 700~3 500 m。最后,海拔高度、干预周期与运动时间存在较大差异,干预周期主要集中在 2~32 周,运动频率每周 2~6 天。纳入研究文献基本特征见表 1。

2.2 文献质量评估

21 篇文献采用随机分配方法,其中张念坤^[20]、Jung 等^[26]、Klug 等^[27]、Mai 等^[30]、Park 等^[35]描述了随机分配方法和分配方案隐藏。在参与者设盲、分析者设盲、结果数据的完整性这 3

表 1 纳入研究文献的基本特征

参考文献	样本 量	年龄 ($MD \pm SD$)	海拔高度 /m	运动方案			研究指标变化特征[T Δ %(C Δ %)]		
				类型	强度	时间、频率、周 期	体重	体脂率/%	HOMA-IR
陈立军等(2013) ^[15]	20	C:19.30 $\pm$ 3.40 T:19.50 $\pm$ 3.20	高原 2 360	羽毛球、慢跑 等运动	110~140 bpm	4h/天、6天/ 周、4周	-8.3%(-7.0%)	-19.8 (-14.8)	-
付丽娟等(2022) ^[16]	20	C:22.50 $\pm$ 2.60 T:22.30 $\pm$ 2.80	模拟海拔 2 300	骑车	65% $\dot{V}O_{2max}$	1h/天、5天/ 周、4周	-7.1%(-2.2%)	-21.0 (-5.1)	-
李文静(2019) ^[17]	15	男大学生(*)	模拟海拔 2 500	硬拉、深蹲等 抗阻运动	30% 1RM	1h/天、3天/ 周、6周	-4.1%(-2.1%)	-6.6 (-5.2)	-
王宁琦等(2012) ^[18]	18	C:22.40 $\pm$ 2.07 T:19.50 $\pm$ 1.64	模拟海拔 2 500~2 800	有氧运动、抗 阻运动	60%~70% HR _{max}	2h/天、3天/ 周、4周	-7.3%(-4.2%)	-13.5 (-6.8)	-60.4% (-59.1%)
杨贤昱等(2014) ^[19]	18	C:22.13 $\pm$ 2.17 T:22.50 $\pm$ 1.27	模拟海拔 2 500	跑步、骑车	140~150 bpm	1h/天、5天/ 周、4周	-5.9%(-5.8%)	-12.8 (-17.5)	-
张念坤(2019) ^[20]	40	C:21.87 $\pm$ 2.31 T:22.34 $\pm$ 2.15	模拟海拔 2 500	骑车	65% $\dot{V}O_{2max}$	1h/天、5天/ 周、4周	-5.5%(-3.6%)	-	-
赵述强等(2016) ^[21]	18	C:18.08 $\pm$ 1.79 T:18.24 $\pm$ 2.23	模拟海拔 2 700	骑车	65%~75% $\dot{V}O_{2max}$	1h/天、5天/ 周、8周	-11.7% (-4.0%)	-11.6 (-9.9)	-
Camacho-Cardenosa 等(2018) ^[22]	26	C:43.14 $\pm$ 7.67 T:44.43 $\pm$ 7.18	模拟海拔 2 500	骑车	90%W _{max}	41.5min/天、3 天/周、12周	-	-	-
Chacaroun 等(2020) ^[14]	23	C:56.00 $\pm$ 11.00 T:52.00 $\pm$ 12.00	模拟海拔 3 700	骑车	75 $\pm$ 2% HR _{max}	45min/天、3天 /周、8周	-	-0.6 (2.8)	-4.0% (-3.3%)
Gatterer 等(2015) ^[23]	32	C:52.40 $\pm$ 7.90 T:50.30 $\pm$ 10.30	模拟海拔 3 500	骑车、跑步等 有氧运动	65%~70% HR _{max}	3h/天、2天/ 周、32周	-3.1% (-2.8%)	-1.3 (-2.1)	-
Gutwenger 等(2015) ^[24]	14	C:63.30 $\pm$ 5.20 T:50.10 $\pm$ 7.80	高原1 900	徒步	55%~65% HR _{max}	3h/天、4天/周 、2周	-0.7% (0.8%)	-1.6 (-3.4)	5.0% (7.4%)
Hobbins 等(2021) ^[24]	16	C:41.1 $\pm$ 13.0 T:32.1 $\pm$ 10.2	模拟海拔 3 500	步行	-	1h/天、4天/ 周、2周	-0.5%(0%)	-	-
Jung 等(2020) ^[26]	22	C:43.80 $\pm$ 8.60 T:47.20 $\pm$ 6.40	模拟海拔 3 000	普拉提	-	50min/天、3天 /周、12周	0% (-0.8%)	-0.3 (0.5)	-9.5% (12.7%)
Klug 等(2018) ^[27]	23	C:57.60 $\pm$ 7.30 T:55.00 $\pm$ 7.30	模拟海拔 2 500	跑步	50%~60% $\dot{V}O_{2max}$	1h/天、3天/ 周、12周	-1.4% (-2.1%)	-	16.0% (-10.6)
Kong 等(2014) ^[28]	18	C:22.30 $\pm$ 1.70 T:19.80 $\pm$ 2.20	模拟海拔 2 000~3 000	跑步、骑车等 有氧运动	60%~70% HR _{max}	22h/周、4周	-7.1% (-4.2%)	-	-
Kong 等(2017) ^[29]	24	18~30	模拟海拔 2 500	骑车	全力冲刺8s	至少20min/天、 4天/周、5周	0.1% (0.3%)	-0.3 (0.5)	-
Mai 等(2020) ^[30]	23	C:57.44 $\pm$ 13.60 T:57.29 $\pm$ 8.55	模拟海拔 2 500	跑步	50%~60% HR _{max}	1h/天、3天/ 周、6周	-	-	-20.6% (-23.3%)
Menendez 等(2018) ^[31]	23	C:32.20 $\pm$ 8.40 T:34.80 $\pm$ 4.70	模拟海拔 3 000	快走	-	1h/天、3天/ 周、3周	-0.5% (-0.4%)	-	3.2% (-15.9%)
Morishima 等(2014) ^[32]	20	C:32.00 $\pm$ 3.00 T:30.00 $\pm$ 9.90	模拟海拔 2 500	骑车	55% $\dot{V}O_{2max}$	1h/天、3天/ 周、4周	-0.4% (-0.8%)	-	-28.3% (-40.5%)
Nishiwaki 等(2016) ^[33]	14	C:56.00 $\pm$ 3.30 T:56.00 $\pm$ 3.30	模拟海拔 2 000	游泳	50% $\dot{V}O_{2peak}$	0.5h/天、4天/ 周、8周	-	-	-
Park 等(2017) ^[34]	23	C:47.20 $\pm$ 6.30 T:42.00 $\pm$ 4.40	模拟海拔 2 000	骑车、跑步	75%HR _{max}	1h/天、 5天/周、6周	-0.8% (-0.8%)	-6.0 (-2.3)	-
Park 等(2017) ^[34]	24	C:47.20 $\pm$ 6.30 T:46.60 $\pm$ 5.70	模拟海拔 3 000	骑车、跑步	75%HR _{max}	1h/天、 5天/周、6周	-1.6% (-0.8%)	-3.3 (-2.3)	-
Park 等(2019) ^[35]	24	C:66.50 $\pm$ 0.67 T:66.50 $\pm$ 0.90	模拟海拔 3 000	卷腹、卧推等 抗阻运动	60%~70% HR _{max}	90~120min/天、 3天/周、12周	-8.0% (-4.6%)	-17.8 (-6.5)	-
Shin 等(2018) ^[36]	17	C:46.00 $\pm$ 20.50 T:45.60 $\pm$ 20.90	模拟海拔 2 500	跑步	60%HR _{max}	50min/天、 3天/周、4周	-2.4% (-0.2%)	-4.8 (0.1)	-32.9% (-7.8%)
Wiesner 等(2010) ^[37]	45	C:42.10 $\pm$ 5.88 T:42.20 $\pm$ 7.79	模拟海拔 2 740	跑步	65% $\dot{V}O_{2max}$	1h/天、 3天/周、4周	-1.8% (-1.7%)	-	-42.1% (-33.3%)

注:—:文中无数据;*:文中未无年龄数据;bpm;每分钟心跳次数;HR_{max}:最大心率; $\dot{V}O_{2max}$:最大摄氧量;T:低氧组,C:常氧组, Δ %:相对于运动前,运动后指标变化幅度。

个条目中,高偏倚风险达到 50%。低氧实验具有一定风险,研究人员会事先告知受试者情况,签署知情同意书,难以完全盲法,仅有 9 篇文献对受试者和参与者进行了盲法。在结果数据的完整性评估中,高偏倚风险达到 50%,11 篇文献保证了结果数据的完整性。所有文献无选择性报告研究结果和其他偏倚来源。

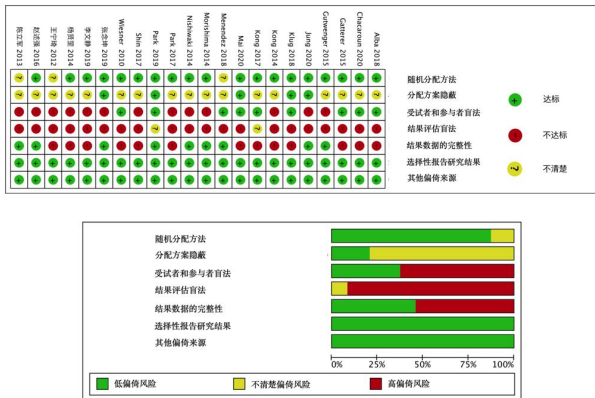


图 2 本研究文献方法学质量评估示意图

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 异质性检验

异质性检验结果:体重、体脂率、空腹血糖、HbA1c 纳入的文献不存在异质性, $I^2 \leq 50\%$ 且 $p \geq 0.1$, 采用固定效应模型合并效应量。空腹胰岛素 ($I^2=43\%$, $p=0.09$)、HOMA-IR ($I^2=98\%$, $p<0.000\ 01$) 纳入的文献之间存在异质性,需要消除异质性再采用固定效应模型合并效应量,否则采用随机效应模型。

2.3.2 敏感性分析

敏感性分析结果:Morishima 等^[32]对空腹胰岛素纳入文献之间的异质性影响最大,剔除后剩余文献不存在异质性 ($I^2=0\%$ 且 $p=0.68$),采用固定效应模型。HOMA-IR 纳入文献之间的异质性无法消除,故采用随机效应模型合并效应量。

2.3.3 效应量合并

体重共纳入 20 项独立研究,419 例实验对象;体脂率共纳入 17 项独立研究,348 例实验对象。结果显示,体重、体脂率的合并效应量为 $WMD=-1.60$ 、 $WMD=-1.21$, 达到大效应量且具有统计学意义, $p<0.05$ 。提示与常氧环境下运动相比,低氧环境下运动减轻体重、降低体脂率具有明显优势。见图 3(A/B)。

胰岛素抵抗纳入 9 项独立研究,206 例实验对象。HOMA-IR 合并效应量 $WMD=-0.22$, 达到小效应量,提示低氧环境下运动改善 HOMA-IR 有优势。见图 4(A)。

空腹胰岛素共纳入 7 项独立研究,167 例实验对象。空腹胰岛素合并效应量 $WMD=-0.24$, 达到小效应量,提示与常氧环境下运动相比,低氧环境下运动改善空腹胰岛素具有优势。见图 4(B)。

空腹血糖共纳入 10 项独立研究,214 例实验对象;HbA1c 共纳入 3 项独立研究,73 例实验对象。空腹血糖合并效应量 $WMD=-0.03$, 未达到小效应量;HbA1c 合并效应量 $WMD=-0.27$, 达到小效应量。提示低氧环境下运动改善空腹血糖水平没有优势,对 HbA1c 具有优势,见图 4(C/D)。

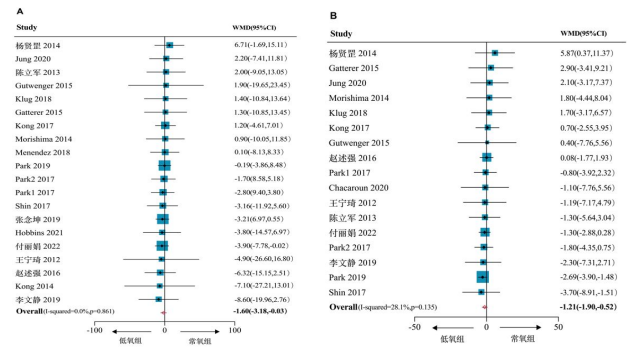


图 3 低氧运动对肥胖者体重(A)、体脂率(B)干预效果的森林图

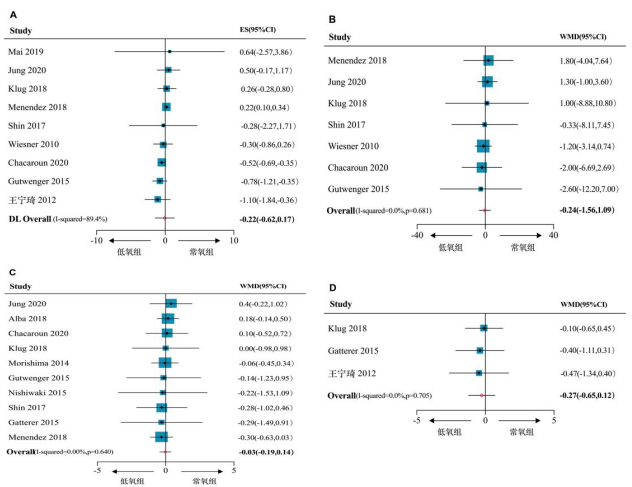


图 4 低氧运动对肥胖者 HOMA-IR(A)、FINS(B)、FBG(C)、HbA1c(D)的干预效果森林图

2.3.4 发表偏倚检验

体重、体脂率、空腹血糖纳入研究数量达到 10 个及以上,进行发表偏倚检验。体重、空腹血糖的漏斗图对称,见图 5(A、C);Egger 检验 $p>|t|$ 值大于 0.05, Begg 检验中 $Z<1.96$ 且 $Pr>|z|$ 大于 0.05, 提示体重、FBG 纳入的文献之间无发表偏倚。图 5(B)显示体脂率的漏斗图略微不对称, Egger 偏倚检验中 $Pr>|t|=0.021$ 小于 0.05, 提示体脂率纳入的研究存在一定发表偏倚。剪补法对漏斗图进行处理,分析得出体脂率指标需要纳入与杨贤罡等^[19]、Gatterer 等^[23]、Jung 等^[26]、Klug 等^[27]、Kong 等^[29]、Morishima 等^[32]研究结果类似的 6 篇文献,这样可以保证图 5(B)漏斗图对称,消除体脂率指标文献之间的发表偏倚。

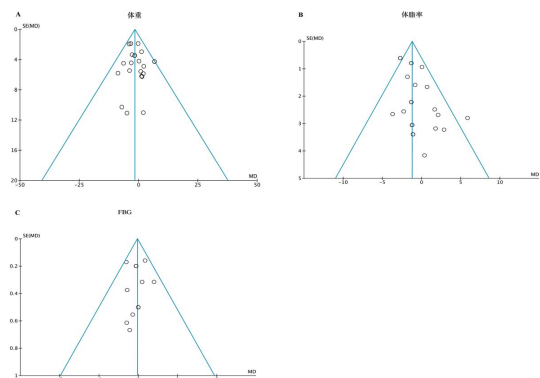


图 5 发表偏倚评估漏斗图

2.3.5 调节变量分析

海拔高度、干预周期、运动时间直接影响低氧环境下减体重、降体脂效果。Britto 等^[38]发现长周期、低频率的低氧运动干预,体重每周下降 0.33%,脂肪重量每周下降 0.72%;短周期、高频率的低氧运动干预中,体重每周下降 0.53%,脂肪重量每周下降 1.06%。本研究将海拔高度、干预周期、锻炼时间作为体重和体脂率的调节变量;根据不同海拔高度^[39],将海拔高度划分 1 500~3 500 m、>3 500 m;同时,根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)关于身体活动水平等级,将运动时间分为<300 h/周、≥300 h/周;干预周期分为<4 周、≥4 周。见图 6(A、B)。

调节变量—海拔高度分析结果:海拔高度 1 500~3 500 m 时,降体重效果最大,低氧组的体重明显低于常氧组($WMD=-1.60, p<0.05; N_1=20, N_2=415$)。海拔高度 1 500~3 500 m 时,减体脂效果最明显,低氧组的体脂率显著低于常氧组($WMD=-1.21, p<0.01; N_1=16, N_2=325$);海拔高度大于 3 500 m,仅纳入 1 篇文献^[14],低氧组的体脂率与常氧组相比,差异无统计学意义。

调节变量—干预周期分析结果:干预周期≥4 周时,降体重效果最大,低氧组的体重明显低于常氧组($WMD=-1.90, p<0.05; N_1=17, N_2=354$);其次是干预周期<4 周($WMD=0.34, p>0.05; N_1=3, N_2=63$)。干预周期≥4 周时,减体脂率效果最明显,低氧组的体脂率显著低于常氧组($WMD=-1.31, p<0.01; N_1=15, N_2=314$);干预周期<4 周,低氧组的体脂率与常氧组相比,差异无统计学意义($WMD=0.04, p=0.98; N_1=2, N_2=34$)。

调节变量—运动时间结果显示:锻炼时间≥300h/周,降体重效果最明显,低氧组的体重显著低于常氧组($WMD=-1.92, p<0.05; N_1=8, N_2=173$);其次是锻炼时间<300 h/周,低氧组的体重与常氧组相比,差异无统计学意义($WMD=-0.63, p>0.05; N_1=12, N_2=244$)。锻炼时间≥300 h/周,减体脂效果最明显,低氧组的体脂率显著低于常氧组($WMD=-1.41, p<0.01; N_1=10, N_2=199$);其次是锻炼时间<300 h/周,低氧组的体脂率与常氧组相比,差异无统计学意义($WMD=0.03, p>0.05; N_1=7, N_2=149$)。

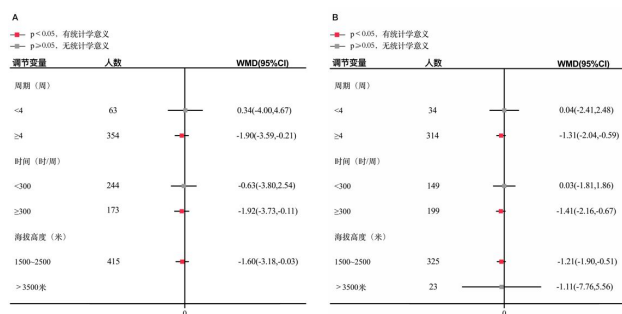


图 6 可调节变量与体重(A)、体脂率(B)之间的变化差异图

3 讨论

3.1 低氧运动对肥胖者身体成分的影响效果分析

本 meta 分析结果显示:相对于常氧环境,低氧环境下运动降低肥胖者的体重、体脂率具有明显优势,这种优势具有统

计学意义。从运动类型来看,李文静^[17]、Park 等^[35]发现相比于常氧运动,低氧环境下抗阻运动对降体重、减体脂具有优势;由于缺乏运动强度刺激,低氧环境下普拉提降体重、减体脂效果并不理想^[26];仅有 Kong 等^[29]比较常氧和低氧环境下高强度间歇训练对体重、体脂率的影响,运动前后均无改善效果,未来需要关注低氧环境下高强度间歇训练的减肥效果。从海拔高度、运动时间和干预周期来看,纳入的 24 篇文献存在差异。基于其差异性,探索可调节的变量,结果显示海拔高度、低氧暴露时长直接影响肥胖者的减肥效果。当海拔高度处于 1 500~3 500 m、运动时间≥300 h/周、干预周期≥4 周,对改善肥胖者的体重、体脂率综合效益最好。Gutwenger 等^[24]将肥胖者进行每周 720 h 的中等强度有氧练习,仅持续 2 周,结果显示,低氧组较常氧组的降体重(-0.7% vs 0.8%)、减体脂(-1.6% vs -3.4%)效果并不明显。同时,Gatterer 等^[23]对肥胖者进行为期 32 周中等强度的骑车、跑步练习,每周仅运动 180 h,在第 5 周时,低氧组与常氧组的体成分变化幅度最低,体重(-1.7% vs -0.8%)、体脂率(1.3% vs -0.9%);在第 12 周时,低氧组与常氧组的体成分变化差异不明显,体重(-3.6% vs -2.7%)、体脂率(-0.4% vs 1.9%)。由此可见,低氧环境下暴露时长、干预周期需要达到最低限度,即 300 h/周、4 周,才能显著改善肥胖者的体重和体脂率。

早期研究报道长跑运动员、军人、登山者等人群在高原上训练,滞留 5~14 天,体重得到不同幅度下降^[4,40-42];肥胖人群通过人工低氧干预,体重下降同时体脂率也随之下降^[43-44]。低氧环境下,能量摄入减少是降体重、减体脂的主要决定因素。众多研究已经证实低氧会抑制食欲和能量摄入。Armellini 等^[45]对 12 名健康志愿者进行 16 天高山徒步攀登,不限制饮食,结果发现能量摄入减少 30%,体重显著下降;Matu 等^[46]同样对 12 名健康志愿者进行 14 天喜马拉雅山徒步旅行,期间自由饮食,相对于平原阶段,能量摄入在 3 619 m 和 5 140 m 处显著降低;上述 2 项研究均为高海拔地区进行体力活动,能量摄入降低。Wasse 等^[47]也发现,低氧会抑制食欲,受试者能量摄入更低。也有研究报道低氧环境下,体重下降与瘦素高表达有关^[48],瘦素水平高表达由缺氧诱导因子触发,在高海拔地区引发食欲下降、减少食物摄入^[49]。从以上研究结果来看,高原低氧环境或人工模拟低氧环境会导致食物摄入量减少,加剧能量负平衡。除能量摄入减少外,基础代谢提高可能是降体重、减体脂的重要因素。Nair 等^[50]以 20 名男性为观察对象,在海拔 3 358 m 高原暴露 5 周,基础代谢显著提高。在另一项研究^[51]中,7 名健康男性在海拔 4 300 m 高原暴露 2 天,基础代谢比平原增加 27%,适应 3 周后,基础代谢仍上升 17%;其他研究^[52-53]也发现了类似结果。因此,对于肥胖人群减体重、降体脂而言,自然高原环境或人工模拟低氧环境下运动是一种有效干预手段,与本研究报道一致。

3.2 低氧运动对肥胖者糖代谢的影响效果分析

血糖是衡量胰岛素敏感性常用指标,不管是消极低氧暴露还是积极低氧暴露,都会增加血糖消耗,提高机体耐糖能力^[6,54]。本 Meta 分析显示:相比于常氧运动,低氧运动改善肥胖者的血糖水平无明显优势。Boyer 等^[55]发现受试者上升到极高海拔 5 400 m,丢失体重中脂肪占比由 70.5%下降到 27.2%,

随着低氧暴露时长和海拔高度加深,葡萄糖供能比例增加,脂肪比例减少,增加对葡萄糖消耗,引起空腹血糖下降。Brooks 等^[56]也发现,当海拔上升到 4 300 m 时,血糖代谢依赖增加。而在本研究中,9 篇文献模拟中等海拔高度,1 篇模拟高海拔(3 700 m),绝大多数受试者未经历高海拔低氧暴露,故空腹血糖水平无改善效果。就独立研究来看,Jung 等^[26]使用普拉提干预肥胖者,低氧组血糖水平下降 1.36%,常氧组血糖水平上升 9.0%, $p>0.05$;Camacho-Cardenosa 等^[22]对肥胖人群进行冲刺训练干预,低氧组和常氧组的空腹血糖水平得到一定程度下降,运动前后无统计学意义;剩余 8 项研究均采用中等强度有氧运动,空腹血糖的改善水平无明显差异。

HbA1c 可反映测试前一段时间内血糖浓度总体水平,且在一段时间内变化不大,作为血糖监控的“黄金标准”。本 Meta 研究显示:相比于常氧运动,低氧运动改善肥胖者的 HbA1c 水平具有优势, $WMD=-0.27$, 达到小效应量。纳入 3 篇文献中,仅有王宁琦等^[18]显示低氧组与常氧组的 HbA1c 显著下降,但 2 个组差异无统计学意义。未来仍需要纳入更多文献探究比较低氧运动对 HbA1c 的影响。

3.3 低氧运动对肥胖者胰岛素抵抗的影响效果分析

肥胖机体长期伴随的高血糖、高血脂会导致胰岛素传导代谢途径出现障碍,诱发胰岛素抵抗^[57],一旦出现胰岛素抵抗,糖、脂代谢均受到影响,诱发肥胖疾病。本 Meta 分析显示:相对于常氧运动,低氧运动缓解肥胖者的胰岛素抵抗具有优势,对改善空腹胰岛素水平也具有优势。动物模型显示,单纯运动可以增强胰岛素敏感性,减轻胰岛素抵抗^[58-59]。另外,人体研究显示,超重者和肥胖者进行长期运动干预后,胰岛素抵抗得到明显改善^[60-61]。究其原因与骨骼肌糖原合成、胰岛素信号传导通路等有关:体内约 80%葡萄糖被骨骼肌摄取和代谢^[62],运动后骨骼肌糖原合成酶活性和葡萄糖转运效率高^[63],血糖浓度下降,骨骼肌胰岛素抵抗状态得到减轻^[64];同时,运动可以活化胰岛素信号通路,激活 P13K/PKB 通路来促进 GLUT4 易位和 GSK-3 的去磷酸化,以此促进葡萄糖摄入和糖原合成,改善胰岛素抵抗。Kump 等^[65]对大鼠进行 3 周运动干预,大鼠骨骼肌 PKB 磷酸化水平明显高于对照组;Bernard 等^[66]也发现大鼠经过 12 周运动干预后,其骨骼肌中 P13K 的活性显著升高。故运动可以明显改善胰岛素抵抗,运动结合低氧时改善效果会更加明显^[67]。李靖等^[68]报道肥胖青少年在低氧环境下训练 4~6 周后,体内胰岛素抵抗显著降低。在本研究 9 篇文献中,Chacaroun 等^[14]、王宁琦等^[18]和 Mai 等^[30]、Shin 等^[36]、Wiesner 等^[37]研究显示低氧环境下有氧运动,胰岛素抵抗的改善水平具有显著优势;而低氧环境下快走、高原徒步对胰岛素抵抗的改善效果并未体现^[24,31],与其他实验设计相比,快走、徒步似乎缺少一定运动强度刺激,干预周期过短(2~3 周)也无法产生明显的改善效果。因此,基于当前纳入的 9 篇文献,本研究发现相对于常氧环境,低氧环境下运动改善胰岛素抵抗具有优势。但是,未来需要纳入更多研究进行验证。

4 结论与展望

低氧运动可以改善肥胖者的身体成分。在 1 800~3 500 m 海拔高度的低氧环境中进行锻炼,达到 4 周,每周至少 300 h

对改善肥胖者身体成分的效果显著。

基于当前证据,本研究初步证实了低氧运动缓解肥胖者胰岛素抵抗、空腹胰岛素以及 HbA1c 具有优势,但受到原始文献数量限制,该结果仍需要纳入更多的随机对照试验进行验证,增强研究结果的稳健性。

参考文献:

- [1] DI CESARE M, BENTHAM J, STEVENS G A, et al. Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants[J]. LANCET, 2016, 387(10026): 1377-1396.
- [2] URDAMPILLETA A, GONZÁLEZ-MUNIESA P, PORTILLO M P, et al. Usefulness of combining intermittent hypoxia and physical exercise in the treatment of obesity[J]. J Physiol Biochem, 2012, 68(2): 289-304.
- [3] WEARING S C, HENNIG E M, BYRNE N M, et al. The biomechanics of restricted movement in adult obesity[J]. Obes Rev, 2006, 7(1): 13-24.
- [4] HOYT R W, JONES T E, BAKER-FULCO C J, et al. Doubly labeled water measurement of human energy expenditure during exercise at high altitude[J]. Am J Physiol, 1994, 266(3 Pt 2): R966-971.
- [5] GUNGA H C, FRIES D, HUMPELER E, et al. Austrian Moderate Altitude Study (AMAS2000)-fluid shifts, erythropoiesis, and angiogenesis in patients with metabolic syndrome at moderate altitude (congruent with 1700m) [J]. Eur J Appl Physiol, 2003, 88(6): 497-505.
- [6] CHEN M T, LEE W C, CHEN S C, et al. Effect of a prolonged altitude expedition on glucose tolerance and abdominal fatness[J]. Res Q Exer Sport, 2010, 81(4): 472-477.
- [7] KARL J P, COLE R E, BERRYMAN C E, et al. Appetite Suppression and Altered Food Preferences Coincide with Changes in Appetite-Mediating Hormones During Energy Deficit at High Altitude, But Are Not Affected by Protein Intake[J]. High Alt Med Biol, 2018, 19(2): 156-169.
- [8] 黄徐根,冯连世,徐建方,等.低氧训练对血清体重调节相关激素的影响[J].体育科学,2008(6):39-46+72.
- [9] LING Q, SAILAN W, RAN J, et al. The effect of intermittent hypoxia on bodyweight, serum glucose and cholesterol in obesity mice [J]. Pak J Biol Sci, 2008, 11(6): 869-875.
- [10] 林文骏,李颖,翁锡全.间歇性低氧和运动对高脂饮食诱导胰岛素抵抗大鼠血清内脂素的影响[J].中国运动医学杂志,2008(2): 161-164.
- [11] 潘哲浩,翁锡全,朱宪锋,等.间歇低氧暴露对高脂膳食大鼠胰岛素敏感性的影响[J].中国运动医学杂志,2012(3):244-247.
- [12] 周旭毓,方积乾.Meta 分析的常见偏倚[J].循证医学,2002,2(4): 216-220.
- [13] 温煦.效应量:体育科研中不应忽略的统计量[J].中国体育科技, 2011,47(3):142-145.
- [14] CHACAROUN S, BOROWIK A, GONZALEZIVE Y, et al. Hypoxic Exercise Training to Improve Exercise Capacity in Obese Individuals [J]. Med Sci Sports Exerc, 2020, 52(8): 1641-1649.
- [15] 陈立军,王兴,王茹.在多巴高原与平原分别实施有氧运动处方

- 对肥胖青少年体质健康促进的实验研究[J].中国体育科技,2013,49(6):89-93.
- [16] 付丽娟,李星谕.低氧训练对肥胖群体身体成分和有氧耐力的影响[J].文体用品与科技,2022(6):92-94.
- [17] 李文静.6周低氧循环抗阻训练对超重男性减脂和发展力量效果的研究[D].北京体育大学,2019:17-20.
- [18] 王宁琦,胡扬,官余凌,等.4周低氧运动结合饮食控制对肥胖青年体重、血脂及胰岛素抵抗的影响[J].中国运动医学杂志,2012,31(4):289-294.
- [19] 杨贤翌,何文革,史东林,等.低氧锻炼对超重和肥胖青年能量摄取、体成分和血脂代谢的影响[J].中国运动医学杂志,2014,33(7):638-645.
- [20] 张念坤.低氧中强度训练疗法对肥胖者的身体成分和血脂代谢的影响[J].基因组学与应用生物学,2019,38(12):5657-5663.
- [21] 赵述强,时洪举.低氧训练对肥胖大学生体成分和有氧耐力的影响[J].中国学校卫生,2016,37(11):1637-1640.
- [22] CAMACHO-CARDENOSA A, CAMACHO-CARDENOSA M, BRAZO-SAYAVERA J, et al. Effects of High-Intensity Interval Training Under Normobaric Hypoxia on Cardiometabolic Risk Markers in Overweight/Obese Women [J]. High Alt Med Biol, 2018, 19(4): 356-366.
- [23] GATTERER H, HAACKE S, BURTSCHER M, et al. Normobaric Intermittent Hypoxia over 8 Months Does Not Reduce Body Weight and Metabolic Risk Factors: a Randomized, Single Blind, Placebo-Controlled Study in Normobaric Hypoxia and Normobaric Sham Hypoxia[J]. Obes Facts, 2015, 8(3): 200-209.
- [24] GUTWENGER I, HOFER G, GUTWENGER A K, et al. Pilot study on the effects of a 2-week hiking vacation at moderate versus low altitude on plasma parameters of carbohydrate and lipid metabolism in patients with metabolic syndrome[J]. BMC Res Notes, 2015, 28(8): 103.
- [25] HOBBS L, HUNTER S, GAOUA N, et al. Short-Term Perceptually Regulated Interval-Walk Training in Hypoxia and Normoxia in Overweight-to-Obese Adults[J]. J Sports Sci Med, 2021, 20(1): 45-51.
- [26] JUNG K, KIM J, PARK H Y, et al. Hypoxic Pilates Intervention for Obesity: A Randomized Controlled Trial[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(19): 7186.
- [27] KLUG L, MÄHLER A, RAKOVA N, et al. Normobaric hypoxic conditioning in men with metabolic syndrome[J]. Physiol Rep, 2018, 6(24): 1-14.
- [28] KONG Z, ZANG Y, HU Y. Normobaric hypoxia training causes more weight loss than normoxia training after a 4-week residential camp for obese young adults[J]. Sleep Breath, 2014, 18(3): 591-597.
- [29] KONG Z, SHI Q, NIE J, et al. High-Intensity Interval Training in Normobaric Hypoxia Improves Cardiorespiratory Fitness in Overweight Chinese Young Women[J]. Front Physiol, 2017, 23(8): 175.
- [30] MAI K, KLUG L, RAKOVA N, et al. Hypoxia and exercise interactions on skeletal muscle insulin sensitivity in obese subjects with metabolic syndrome: results of a randomized controlled trial[J]. Int J Obes, 2020, 44: 1119-1128.
- [31] MENENDEZ A F, SAUDAN G, SPERISEN L, et al. Effects of Short-Term Normobaric Hypoxic Walking Training on Energetics and Mechanics of Gait in Adults with Obesity[J]. Obesity (Silver Spring), 2018, 26(5): 819-827.
- [32] MORISHIMA T, KURIHARA T, HAMAOKA T, et al. Whole body, regional fat accumulation, and appetite-related hormonal response after hypoxic training[J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2014, 34(2): 90-97.
- [33] NISHIWAKI M, KAWAKAMI R, SAITO K, et al. The effects of exercise training under mild hypoxic conditions on body composition and circulating adiponectin in postmenopausal women [J]. Clinical physiology and functional imaging, 2016 36(6): 468-475.
- [34] PARK H Y, LIM K. The Effects of Aerobic Exercise at Hypoxic Condition during 6 Weeks on Body Composition, Blood Pressure, Arterial Stiffness, and Blood Lipid Level in Obese Women[J]. International Journal of Sports Science, 2017, 1(1):1-5.
- [35] PARK H Y, JUNG W S, KIM J, et al. Twelve weeks of exercise modality in hypoxia enhances health-related function in obese older Korean men: A randomized controlled trial[J]. Geriatr Gerontol Int, 2019, 19(4): 311-316.
- [36] SHIN S, MATSUOKA T, SO W Y. Influences of Short-term Normobaric Hypoxic Training on Metabolic Syndrome-Related Markers in Overweight and Normal-weight Men[J]. Journal of Men's Health, 2018, 14(1): 44-52.
- [37] WIESNER S, HAUF S, ENGEL S, et al. Influences of normobaric hypoxia training on physical fitness and metabolic risk markers in overweight to obese subjects[J]. Obesity (Silver Spring), 2010, 18(1): 116-120.
- [38] BRITTO F A, DE GROOTE E, ARANDA J, et al. Effects of a 30-week combined training program in normoxia and in hypoxia on exercise performance and health-related parameters in obese adolescents: a pilot study[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2020, 60(4): 601-609.
- [39] DÜNNWALD T, GATTERER H, FAULHABER M, et al. Body Composition and Body Weight Changes at Different Altitude Levels: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Front Physiol, 2019, 16(10): 430.
- [40] GREENLEAF J E, BERNAUER E M, ADAMS W C, et al. Fluid electrolyte shifts and $\dot{V}O_{2max}$ in man at simulated altitude (2,287m) [J]. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1978, 44(5): 652-658.
- [41] KASPRZAK Z, ŚLIWICKA E, HENNIG K, et al. Vitamin D, Iron Metabolism, and Diet in Alpinists During a 2-Week High-Altitude Climb[J]. High Alt Med Biol, 2015, 16(3): 230-235.
- [42] MEKJAVIC I B, AMON M, KÖLEGÅRD R, et al. The Effect of Normobaric Hypoxic Confinement on Metabolism, Gut Hormones, and Body Composition[J]. Front Physiol, 2016, 7: 202.
- [43] 冯连世,张涛,高炳宏,等.不同环境下有氧运动对超重和肥胖青少年体重与体脂含量的影响[J].体育科学,2013,33(11):58-65.
- [44] 王茹,王红霞,许亚丽,等.高住低练对肥胖青少年形态学指标和糖脂代谢的影响[J].北京体育大学学报,2013,36(9):81-87.
- [45] ARMELLINI F, ZAMBONI M, ROBBI R, et al. The effects of high-altitude trekking on body composition and resting metabolic rate[J]. Horm Metab Res, 1997, 29(9): 458-461.
- [46] MATU J, O'HARA J, HILL N, et al. Changes in appetite, energy intake, body composition, and circulating ghrelin constituents during an incremental trekking ascent to high altitude[J]. Eur J Appl Physiol, 2017, 117(9): 1917-1928.
- [47] WASSE L K, SUNDERLAND C, KING J A, et al. Influence of rest

- and exercise at a simulated altitude of 4,000m on appetite, energy intake, and plasma concentrations of acylated ghrelin and peptide YY[J]. J Appl Physiol, 2012, 112(4): 552–559.
- [48] LIPPL F J, NEUBAUER S, SCHIFFER S, et al. Hypobaric hypoxia causes body weight reduction in obese subjects[J]. Obesity (Silver Spring), 2010, 18(4): 675–681.
- [49] LU Y, FENG L, XIE M, et al. Hypoxic Living and Exercise Training Alter Adipose Tissue Leptin/Leptin Receptor in Rats[J]. Front Physiol, 2016, 7:554.
- [50] NAIR C S, MALHOTRA M S, GOPINATH P M, et al. Effect of altitude and cold acclimatisation on the basal metabolism in man[J]. Aerosp Med, 1971, 42(10): 1056–1059.
- [51] BUTTERFIELD G E, GATES J, FLEMING S, et al. Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude[J]. J Appl Physiol (1985), 1992, 72(5): 1741–1748.
- [52] MAWSON J T, BRAUN B, ROCK P B, et al. Women at altitude: energy requirement at 4,300m[J]. J Appl Physiol, 2000, 88(1): 272–281.
- [53] WORKMAN C, BASSET F A. Post-metabolic response to passive normobaric hypoxic exposure in sedentary overweight males: a pilot study[J]. Nutr Metab (Lond), 2012, 9(1): 103.
- [54] MACKENZIE R, MAXWELL N, CASTLE P, et al. Intermittent exercise with and without hypoxia improves insulin sensitivity in individuals with type 2 diabetes[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2012, 97(4): E546–555.
- [55] BOYER S J, BLUME F D. Weight loss and changes in body composition at high altitude[J]. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1984, 57(5): 1580–1585.
- [56] BROOKS G A, BUTTERFIELD G E, WOLFE R R, et al. Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4300m[J]. J Appl Physiol, 1991, 70(2): 919–927.
- [57] 柏建.有氧运动对大鼠血清脂蛋白水平的时相性影响[J].中国应用生理学杂志, 2009(4): 489–491+552.
- [58] 张荷,周越,张一民,等.低氧运动对肥胖大鼠胰岛素抵抗及血糖代谢的影响[J].北京体育大学学报, 2016(9): 44–49+56.
- [59] 完建永,张勇,刘世强,等.运动对胰岛素抵抗大鼠肝脏 BIM 信号通路的影响[J].中国应用生理学杂志, 2020(2): 115–118.
- [60] 刘敏,冯连世,王晓慧.4 周有氧运动对肥胖青少年胰岛素抵抗及炎症因子的影响[J].上海体育学院学报, 2015, 39(3): 87–89+94.
- [61] 王盼,赵华.8 周运动干预对超重成人胰岛素抵抗及炎症因子的影响[J].湖北体育科技, 2023, 42(9): 839–844+863.
- [62] WU H, BALLANTYNE C M. Skeletal muscle inflammation and insulin resistance in obesity[J]. J Clin Invest, 2017, 127(1): 43–54.
- [63] 李良鸣,杨则宜,魏源,等.运动前后糖原和大糖原的恢复规律及其机制研究[J].体育科学, 2005(7): 25–30.
- [64] 李恩,叶魁,孙君志,等.8 周游泳运动对高脂饮食诱导胰岛素抵抗大鼠骨骼肌细胞自噬的影响[J].成都体育学院学报, 2009(4): 121–126.
- [65] KUMP D S, BOOTH F W. Alterations in insulin receptor signaling in the rat epitrochlearis muscle upon cessation of voluntary exercise[J]. J Physiol, 2005, 562(3): 829–838.
- [66] BERNARD J R, CRAIN A M, RIVAS D A, et al. Chronic aerobic exercise enhances components of the classical and novel insulin signaling cascades in Sprague–Dawley rat skeletal muscle[J]. Acta Physiol Scand, 2005, 183(4): 357–366.
- [67] MACKENZIE R, MAXWELL N, CASTLE P, et al. Acute hypoxia and exercise improve insulin sensitivity (S(I) (2*)) in individuals with type 2 diabetes[J]. Diabetes Metab Res Rev, 2011, 27(1): 94–101.
- [68] 李靖,张漓,冯连世,等.高原或低氧训练对肥胖青少年减体重效果及血糖代谢相关指标的影响[J].中国运动医学杂志, 2014(5): 460–464.

(上接第13页)

- 院学报, 2011, 11(5): 103–108.
- [32] 杨春然,张梅.世界反兴奋剂机构的行踪规则与法律的冲突及限制[J].成都体育学院学报, 2018(1): 39–46.
- [33] 周青山.美国学校体育兴奋剂检查中的隐私权保护及其启示[J].体育成人教育学刊, 2019(1): 18–43.
- [34] 谢可欣,张利民.探讨未成年运动员在兴奋剂检查程序中的权利保障:基于瓦利耶娃案的考察[J].湖北体育科技, 2023(9): 770–776+833.
- [35] 李卫东.兴奋剂检测方法的研究进展[J].广州体育学院学报, 2012(3): 38–43.
- [36] 吴倅天,杨天乐.兴奋剂与兴奋剂检测[J].百科知识, 2000(7): 23–24.
- [37] 孙寒,李哲,陈旭红,等.兴奋剂检测技术需要持续创新[J].中国发明与专利, 2012(9): 49–51.
- [38] 尹紫君.不管你承不承认,“纯粹”的电子竞技早在十年前就已被兴奋剂腐[EB/OL].(2018–01–24)[2023–07–20].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1590464979869740508&wfr=spider&for=pc>.
- [39] 林俊,李娜.运动员使用兴奋剂态度的测量及影响因素[J].沈阳体育学院学报, 2014(6): 78–83.
- [40] 知乎.在电子竞技领域,反兴奋剂的战争早已打响[EB/OL].(2018–01–24)[2023–07–20].<https://zhuanlan.zhihu.com/p/33256694>.
- [41] 搜狐网.反兴奋剂中心关于加强食品、营养品兴奋剂风险防控有关事宜的通知[EB/OL].(2018–07–20)[2023–07–20].https://www.sohu.com/a/242262707_492667.
- [42] 程宇铤.运动员感冒服药无小事[J].体育科技文献通报, 2005(7): 16.
- [43] 恩彩.草药和食物可能也是兴奋剂[J].新世纪周刊, 2008(23): 152–153.