



低氧训练对我国运动员血红蛋白水平影响的Meta分析

张思奇¹,刘涛¹,江兴豹²,樊冲¹,王军利^{1*}

摘要:运用Meta分析方法综合定量评估不同低氧训练模式对我国运动员血红蛋白(Hb)水平的影响,为科学运用低氧训练提供参考意见。**方法:**对中国知网、万方、维普、Web of Science、Pubmed数据库中的文献进行检索,对所纳入文献的相关指标进行分析。**结果:**(1)低氧训练有助于提升运动员Hb浓度,总体影响程度属于中等效应水平,Hb浓度平均升高5.57 g/L;(2)高住低练(HiLo)模式对运动员Hb浓度的影响程度处于较高效应水平,Hb浓度平均升高6.78 g/L,高住高练低训(HiHiLo)模式次之,最后为高住高练(HiHi)模式;(3)不同HiLo训练持续时间对Hb水平影响不同,当训练持续时间为4周时,对Hb浓度增长幅度最明显;当训练持续时间小于4周时,Hb浓度水平则呈下降趋势。**结论:**总体而言,低氧训练对提升Hb水平有明显效果,但持续4周的HiLo模式对提高运动员Hb水平最优。

关键词:低氧训练;高原训练;血红蛋白;Meta分析

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2022)02-0090-08

DOI:10.12064/ssr.20220214

The Meta Analysis of Hypoxia Training Affect Chinese Athletes' Haemoglobin Level

ZHANG Siqi¹, LIU Tao¹, JIANG Xingbao², FAN Chong¹, WANG Junli^{1*}

(1. School of Sport, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. School of Sport, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: This research aims to provide evidence for the scientific application of hypoxic training by evaluating the influence of different hypoxic training modes on the haemoglobin (Hb) level of Chinese athletes comprehensively and quantitatively with meta-analysis method. The paper uses CMA3.0 (comprehensive meta-analysis) software to statistically describe the relevant indicators of the included documents which collected from the databases of CNKI, Wanfang, Weipu, Web of Science, and PubMed. It shows that hypoxic training helps to increase the Hb concentration of athletes. The overall effect is at a moderate effect level, and the Hb concentration increases 5.57 g/L on average. The impact of Living High and Training Low (HiLo) mode on athletes' Hb concentration level is at a relatively high level of effect, and the average Hb concentration increases 6.78 g/L. The HiHiLo mode ranks 2nd, and living high training high (HiHi) mode ranks last. Different HiLo training durations have different effects on Hb levels. The best effect on increasing Hb concentration is the training duration lasts 4 weeks. The Hb concentration level shows a downward trend when the training duration lasts less than 4 weeks. In conclusion, the hypoxic training mode has a significant effect on the improvement of Hb level, but the HiLo mode which lasts 4 weeks works best.

Keywords: hypoxic training; altitude training; haemoglobin; meta-analysis

低氧训练在近些年被广泛应用,是在运动训练过程中持续或间断地采用低氧条件刺激,主要利用高原自然低氧环境或人工模拟对人体产生特殊生物学效应,配合运动训练来增加机体的缺氧程度,以调动体内的机能潜力,从而产生一系列有利于提高运动能力的抗缺氧生理反应与适应,进而达到提高运

动成绩的目的^[1]。随着低氧训练探索研究不断深入,训练模式也从传统的高住高练(Living High-Training High, HiHi),逐步向高住低练(Living High and Training Low, HiLo)、高住高练低训(Living High-Training High-Training Low, HiHiLo)等方面发展。但通过低氧训练获取理想的训练效果,需要考虑诸多因素,如训

收稿日期:2021-02-03

基金项目:消防管理理论与软科学基金(2020XFLR43);江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX21_2131);中国矿业大学未来杰出人才助力计划资助(2021WLJCRZL097)。

第一作者简介:张思奇,男,硕士研究生。主要研究方向:运动训练学、体质健康。E-mail:1343065708@qq.com。

*通信作者简介:王军利,男,博士,副教授,硕士生导师。主要研究方向:运动与健康。E-mail:wjl88816@163.com。

作者单位:1.中国矿业大学 体育学院,江苏 徐州 221116;2.安徽工程大学 体育学院,安徽 芜湖 241000。



练模式的选择、上高原或入仓的时机、训练持续时间、负荷的量和强度、训练内容安排、出仓或下山时间以及训练后调整到最佳竞技状态所需要的时间等。同时,低氧训练也是一把“双刃剑”,安排得好可以提高比赛成绩;安排稍有失误,可能适得其反。

目前国内对低氧训练研究报道相对较多,但绝大部分为动物实验及运动员实验研究,运动员实验研究报告主要突出运动成绩或某些生理生化指标^[2-5]。不同研究的结果不尽相同,就训练模式而言,主要集中于传统高原训练与人工模拟低氧环境训练,二者是不相同的训练模式,在低氧暴露时间、环境压强、缺水状况和紫外线强度等都存在较大差异;许多研究也表明,不同低氧训练模式的缺氧程度对血液动力学指标的影响存在明显差异^[6-8]。目前,国内的低氧训练 Meta 分析着重开展了不同性别、年龄、持续时间以及训练频率等提升有氧能力的效应研究^[9-11],不同训练模式之间的比较研究甚少。本研究对相关文献进行定量系统综述,分析不同训练模式、结局指标测试时间及训练持续时间对血红蛋白(Haemoglobin, Hb)水平的影响。以期对低氧训练安排提供参考意见,助力我国竞技体育事业发展。

1 研究方法

1.1 文献来源

从中国知网(CNKI)、万方、维普、Web of Science 及 Pubmed 数据库进行 1999 年至 2020 年 10 月 7 日文献检索。检索词中文以“高原训练”“高住高练”“高住低练”“高住高练低训”“低氧训练”为主题词进行组合式混合检索,英文以“hypoxic training”“altitude training”“Haemoglobins”等主题词进行综合检索,并通过 EndnoteX9 软件,将 5 个数据库中根据检索式检索到的、初步判断符合本研究内容的文献全部导入。再采用 EndnoteX9 软件的去重重复文献功能,检查并手动去除部分重复文献。

1.2 文献纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准

文献筛选依据循证医学 PICOS 方式^[12],考虑文献参与者(participants)、干预措施(interventions)、对照组(comparisons)、研究结果(outcomes)和研究设计(study design)5 个因素。具体文献纳入标准:(1)参与者为运动员;(2)干预措施为 HiHi、HiLo、HiHiLo;(3)文献类型为实验类文章,均为自身对照;(4)实验结局指标为 Hb 浓度;(5)实验设计方案中有明确的样本量、训练持续时间、结局指标测试时间及性别。

1.2.2 排除标准

排除标准为:(1)不符合纳入标准的文献;(2)排除动物实验以及非运动员实验;(3)残疾运动员;(4)非我国训练场地及运动员;(5)除低氧训练外无其他手段干预;(6)实验结局指标不符合纳入标准;(7)无法获取全文的文献。

1.3 文献编码、数据提取与评价

根据所纳入的文献特征,结合 Hagger 等^[13]的调节变量编码,主要由 2 名检索人员采用独立双盲的方式对所纳入文献依据纳入标准进行编码提取,主要包括文献的第一作者、发表年份、性别、低氧训练模式、样本量、训练项目类型、训练持续时间以及结局指标测试时间。对于一些数据信息不全的文献通过邮箱联系作者获取。

本研究对低氧训练模式进行分组分析,即 HiHi、HiLo、HiHiLo,并按以下 3 个调节变量进行亚组编码:(1)研究结局指标测试时间,分为低氧训练中后期测试组及低氧训练结束即刻测试组;(2)训练持续时间,大于 4 周小于 8 周、4 周及小于 4 周(纳入文献实验持续时间多为 4 周,故以 4 周为分界点);(3)性别,男性运动员和女性运动员。

研究人员采用经典 Jadad 质量评价表将所纳入文献进行评价,分数取值范围为 0~5 分,其中,1~2 分为低质量,3~5 分为高质量。

1.4 数据分析

首先运用 Excel 软件对所纳入文献结局指标进行描述性统计,其次运用 CMA 3.0 软件对所纳入的文献进行分析。为了更好地研究低氧训练对运动员 Hb 的影响,本研究主要使用 Cohen's d 作为实验前后对照组对比的效应指标;效应量的评价标准为: $d \leq 0.2$ 为小效应; $0.2 < d < 0.8$ 为中等效应; $d \geq 0.8$ 为大效应^[14]。异质性主要采用 Q 检验和 I^2 统计量检验。 $P < 0.1$ 代表存在异质性; I^2 统计量判断标准为 $I^2 = 0$ 研究间不存在异质性,仅由抽样误差引起; $I^2 < 25\%$, 异质性较小; $25\% < I^2 < 50\%$, 中等的异质性; $I^2 > 50\%$, 高度异质性^[15]。对于 Meta 分析效应量和并一般采用固定模型或随机模型 2 种方式。由于本研究纳入文献在训练模式、结局指标测试时间、训练持续时间、性别以及训练负荷强度等方面都存在差异,这些差异都很有可能对 Hb 产生效应,故选择随机效应模型进行 Meta 分析^[16]。

2 研究结果

2.1 文献筛查与纳入文献基本情况

通过对数据库的检索得到 1 595 篇文献,由 2 名



评价者依据纳入与排除标准独立筛查文献,从初筛到复筛,最终得到文献24篇(图1),基本特征见表1。

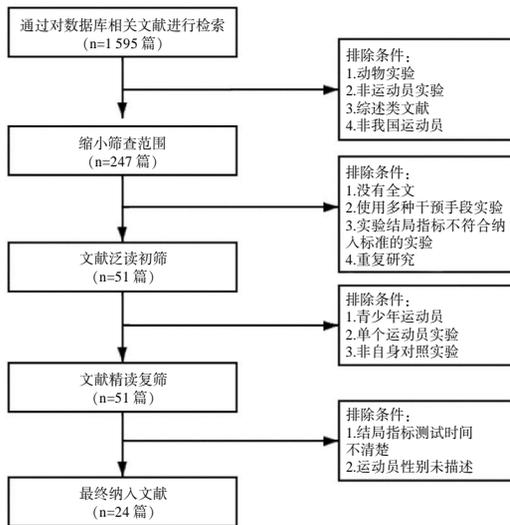


图1 文献检索流程图

Figure1 The process chart of document retrieval

共纳入24篇中文文献,包含有31个独立效应量(即Hb结局指标),关于3种低氧训练模式的纳入文献情况分别是HiHi 6篇、HiLo 8篇、HiHiLo 10篇。其结局测试指标均为Hb浓度,且实验设计中明确了具体测试时间,其中低氧训练中后期测得指标有17个独立效应量,结束后即刻测得指标有14个独立效应量。运动项目主要包括单一动作结构项目(赛艇、皮划艇、划船、中长跑、游泳、自行车、竞走)与多元动作结构项目(现代五项、跆拳道、花样游泳、足球、橄榄球)。低氧训练周期的持续时间主要集中在4周,持续时间最长未超过8周,其中低于4周(7个独立效应量),4周(16个独立效应量),4~8周(6个独立效应量)。样本量共计289人(男177人,20独立效应量;女112人,11个独立效应量),包含HiHi 158人(13个独立效应量),HiLo 61人(8个独立效应量),HiHiLo 70人(10个独立效应量)。

表1 文献纳入基本特征

Table1 The basic characteristic of included documents

作者	年份	样本量	性别	项目	训练持续时间	结局指标	结局指标测试时间	干预类型	Jadad 得分
张纆,等 ^[17]	2005	8	男	足球	4周	Hb	4周周末	HiHiLo	3
陈立,等 ^[18]	2009	5	男	现代五项	4周	Hb	4周周一	HiHiLo	3
陈立,等 ^[18]	2009	5	男	现代五项	4周	Hb	4周周一	HiLo	3
陈艳萍,等 ^[19]	2010	8	男	中长跑	3周	Hb	3周周末	HiHiLo	3
陈艳萍,等 ^[19]	2010	8	男	中长跑	3周	Hb	3周周末	HiLo	3
李家旺 ^[20]	2015	8	男	自行车	4周	Hb	4周周五	HiHiLo	3
张月,等 ^[21]	2017	12	女	赛艇	24 d	Hb	4周周一	HiHiLo	1
包大鹏,等 ^[22]	2007	8	男	中跑	27 d	Hb	3周周一	HiHiLo	1
高欣,等 ^[23]	2008	8	女	跆拳道	4周	Hb	4周周一	HiHiLo	3
刘海平,等 ^[24]	2006	7	男	中长跑	4周	Hb	4周周一	HiHiLo	1
刘海平,等 ^[24]	2006	6	男	中长跑	4周	Hb	4周周一	HiLo	1
高炳宏,等 ^[25]	2005	6	男	赛艇	4周	Hb	4周周末	HiHiLo	3
高炳宏,等 ^[25]	2005	6	男	赛艇	4周	Hb	4周周末	HiLo	3
周志宏,等 ^[26]	2003	10	男	划船	4周	Hb	3周周一	HiLo	3
马校军,等 ^[27]	2010	10	女	皮艇	24 d	Hb	4周周三	HiLo	1
曹艳霞,等 ^[28]	2011	8	女	皮划艇	4周	Hb	4周周末	HiLo	3
黄亚茹,等 ^[29]	2007	8	男	橄榄球	4周	Hb	4周周末	HiLo	3
高瑞生,等 ^[30]	2019	10	男	橄榄球	8周	Hb	8周周一	Hi-Hi	1
姚一鸣,等 ^[31]	2018	4	男	花样滑冰	18 d	Hb	最后一天	Hi-Hi	1
姚一鸣,等 ^[31]	2018	6	女	花样滑冰	18 d	Hb	最后一天	Hi-Hi	1
孟志军,等 ^[32]	2014	12	男	赛艇	8周	Hb	8周周末	Hi-Hi	1
马琳,等 ^[33]	2011	12	女	赛艇	4周	Hb	4周周末	Hi-Hi	1
李越 ^[34]	2010	6	女	皮艇	8周	Hb	8周周一	Hi-Hi	1

(转下页)



(接上页)

作者	年份	样本量	性别	项目	训练持续时间	结局指标	结局指标测试时间	干预类型	Jadad 得分
陶小平,等 ^[35]	2010	12	男	划艇	4周	Hb	4周周一	Hi-Hi	1
陈琳 ^[36]	2010	12	男	游泳	4周	Hb	4周周一	Hi-Hi	1
郭艳艳,等 ^[37]	2009	12	男	竞走	6周	Hb	6周周四	Hi-Hi	1
樊小兵 ^[38]	2008	10	男	中长跑	30d	Hb	最后一天	Hi-Hi	1
樊小兵 ^[38]	2008	7	女	中长跑	30d	Hb	最后一天	Hi-Hi	1
陈伟 ^[39]	2007	12	男	皮艇	4周	Hb	4周周一	Hi-Hi	1
陈彩珍 ^[40]	2005	43	女	花样游泳	4周	Hb	4周周一	Hi-Hi	1

2.2 纳入文献结局指标的描述性统计

通过对所纳入文献中 Hb 浓度指标 ($\bar{X}\pm SD$) 进行分析(表 2), 结果显示实验前后 Hb 浓度变化值、不同模式下 Hb 浓度变化平均值、总 Hb 浓度变化平均值。整体对 Hb 浓度干预结果为正向促进, 平均增加

5.57 g/L。HiHiLo 研究中有 3 项研究未达到明显促进效果, 浓度平均升高 7.02 g/L; 在 HiLo 训练模式中有 2 项研究的 Hb 浓度值不升反降, 平均升高 6.78 g/L; HiHi 研究中有 4 项研究显示 Hb 浓度呈下降趋势, 浓度平均升高 5.57 g/L。

表 2 纳入文献结局指标的描述性统计结果 ($\bar{X}\pm SD$)

Table2 The descriptive statistics of included documents' outcome indicator ($\bar{X}\pm SD$)

作者	训练模式	性别	样本量	实验前测	实验后测	实验前后 Hb 浓度	干预结果
				Hb 浓度/(g·L ⁻¹)	Hb 浓度/(g·L ⁻¹)	变化绝对值/(g·L ⁻¹)	
张纛,等 ^[17]	HiHiLo	男	8	150.88±12.89	165.50±8.12	14.62±15.23	↑
张纛,等 ^[17]		男	8	150.88±12.89	157.15±14.23	6.27±19.20	↑
陈立,等 ^[18]		男	5	131.00±3.79	160.00±10.44	29.00±11.11	↑
陈艳萍,等 ^[19]		男	8	151.50±6.21	159.63±8.65	8.13±10.65	↑
李家旺 ^[20]		男	8	164.38±7.95	161.20±1.91	3.18±8.18	↓
张月,等 ^[21]		女	12	130.83±8.02	137.36±8.46	6.53±11.66	↑
包大鹏,等 ^[22]		男	8	145.25±9.18	136.63±7.63	8.62±11.94	↓
高欣,等 ^[23]		女	8	130.04±7.24	130.01±7.31	0.03±10.29	↓
刘海平,等 ^[24]		男	7	132.29±7.57	135.14±7.78	2.85±10.86	↑
高炳宏,等 ^[25]		男	6	120.70±10.60	135.30±5.68	14.6±12.03	↑
陈立,等 ^[18]	HiLo	男	5	135.50±10.12	159.00±8.54	23.50±13.24	↑
刘海平,等 ^[24]		男	6	139.33±1.20	134.67±7.15	4.66±7.25	↓
陈艳萍,等 ^[19]		男	8	149.38±10.54	151.67±0.58	2.29±10.56	↑
高炳宏,等 ^[25]		男	6	126.30±5.32	143.80±7.35	17.50±9.07	↑
周志宏,等 ^[26]		男	10	130.44±1.73	138.89±10.65	8.45±10.79	↑
马校军,等 ^[27]		女	10	135.33±7.92	126.89±8.54	8.44±11.65	↓
曹艳霞,等 ^[28]		女	8	126.20±5.30	141.81±6.13	15.61±8.10	↑
黄亚茹,等 ^[29]		男	8	154.30±9.68	154.30±8.07	0.00±12.60	↑
高瑞生,等 ^[30]		男	10	139.40±17.79	152.25±22.91	12.85±29.00	↑
姚一鸣,等 ^[31]		男	4	150.90±11.80	146.30±10.00	4.60±15.47	↓
姚一鸣,等 ^[31]	女	6	143.30±10.80	143.00±8.40	0.30±13.68	↓	
孟志军,等 ^[32]	HiHi	男	12	156.00±11.32	163.40±10.24	7.40±15.26	↑
马琳,等 ^[33]		女	12	134.30±11.30	143.93±9.72	9.63±14.91	↑
李越,等 ^[34]		女	6	134.00±8.70	126.6±10.00	7.40±13.25	↓
陶小平,等 ^[35]		男	12	151.83±0.93	140.54±0.99	11.29±1.36	↓
陈琳 ^[36]		男	12	154.73±4.36	157.58±6.88	2.85±8.15	↑
郭艳艳,等 ^[37]		男	12	151.42±7.74	146.33±6.98	5.09±10.42	↓
樊小兵 ^[38]		男	10	145.60±8.98	152.6±8.69	7.00±12.50	↑
樊小兵 ^[38]		女	7	130.15±8.69	132.69±6.13	2.54±10.63	↑
陈伟 ^[39]		男	12	147.00±6.70	163.00±7.00	16.00±9.69	↑
陈彩珍 ^[40]		女	43	131.42±6.95	153.07±9.53	21.65±11.80	↑

注:“↑”表示 Hd 浓度上升,“↓”表示 Hd 浓度下降。

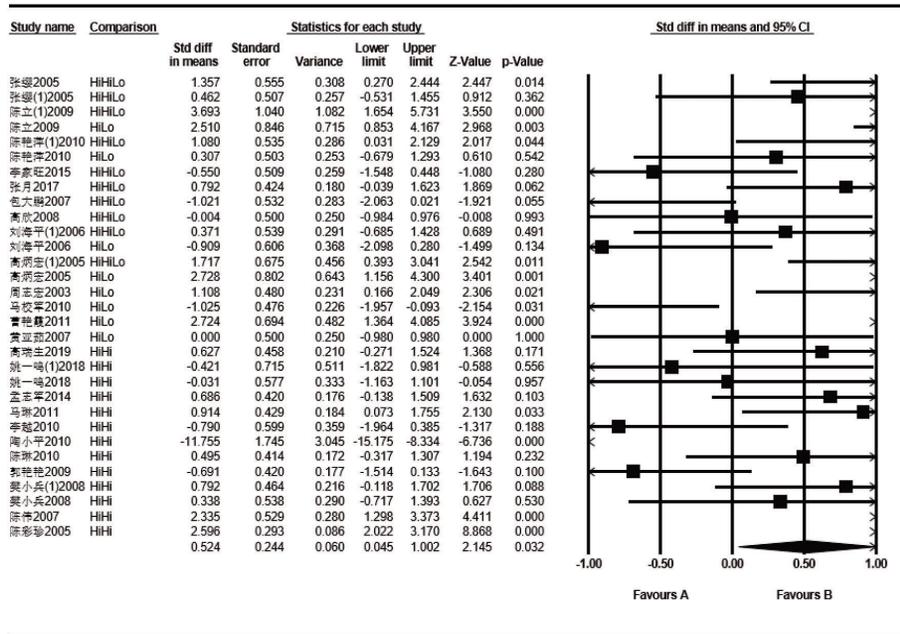


2.3 效应量及异质性估计

对纳入的 24 篇文献进行分析(图 2),低氧训练对运动员 Hb 水平影响的总体效应量 $d=0.524(P<0.1)$, 95%CI 为[0.045,1.002],属于中等效应量。总体效应量的异质性检验结果, $Q=198.914, I^2=84.918\%$ 。说明低氧训练对提高我国运动员 Hb 水平可能有一定效果。因本研究存在高度异质性,采用一次移除一个研

究(One study removed)方法来进行敏感性分析,分析结果显示 $Q=198.914, P<0.001, I^2=84.918\%$, 依然具有高异质性。认为可能不同训练模式间存在差异较大,故以训练模式进行分组分析(表 3)。结果说明 HiLo 训练模式对提高运动员 Hb 水平可能最佳。但 $Q=44.625(P<0.1), I^2=84.172$, 异质性较大,认为其中可能存在重要的潜在调节变量,故进行亚组分析。

Meta Analysis



Meta Analysis

图 2 各项研究中 Hb 水平效应量及总体效应量的森林图

Figure2 The forest plot of Hb level effect and overall effect in different researches

表 3 不同训练模式效应量及异质性估计结果

Table3 The heterogeneity estimation results and different training mode effect

训练模式	k	n	d	95%CI	异质性			
					Q	I ²	QB	P
HiHiLo	10	70	0.601**	[-0.013,1.215]	29.082*	69.053		
HiHi	13	158	0.177*	[-0.681,1.036]	124.150*	90.334	1.175	0.556
HiLo	8	61	0.892**	[-0.136,1.920]	44.625*	84.172		

注:Q 表示组内的异质性, QB 表示组间的异质性。

通过对 HiLo 训练模式亚组分析,结果显示:(1)训练结束时测的 Hb 效应量 $d=1.343, 95\%CI$ 为 $[-0.591, 2.746], Q=16.689, I^2=82.024$ 属于大效应量;训练结束后测得的 Hb 效应量 $d=0.456, 95\%CI$ 为 $[-1.147, 2.069], Q=23.133, I^2=87.032$ 属于中等效应量,说明在低氧训练中后期到训练结束这段时间, Hb 水平可能呈递增趋势且高于低氧训练前水平。(2)当训练持续时间低于 4 周时,效应量 $d=-0.369, 95\%CI$ 为 $[-1.674, 0.936], Q=3.700, I^2=72.975\%$ 属于

负效应量;当训练持续时间为 4 周时,效应量 $d=1.363, 95\%CI$ 为 $[0.115, 2.610], Q=29.918, I^2=83.288\%$ 属于大效应量,说明 HiLo 模式下,训练持续时间对 Hb 水平影响具有调节其异质性的作用,且训练持续时间为 4 周时更有利于提高运动员 Hb 水平。(3)男性的效应量 $d=0.914, 95\%CI$ 为 $[-0.129, 1.958], Q=23.345, I^2=78.583\%$, 属于大效应量;女性的效应量 $d=0.816, 95\%CI$ 为 $[-2.858, 4.489], Q=19.847, I^2=94.961\%$, 属于大效应量,具有同质性且两者都属于大效应量,差距不明显。

2.4 发表偏倚分析

为了检查本研究在文献获取过程中是否发生偏倚,通过漏斗图进行分析(图 3),结果发现漏斗图呈现左右不对称分布,说明存在一定程度的发表偏倚^[41]。若仅应用漏斗图的方法,分析相对较为单一,统计检验效果较小,故研究采用失安全系数(Nfs)进一步探讨。当 Nfs 大于临界值 $5K+10$ (K 指纳入元分析的独立效应量个数),说明存在发表偏倚的可能性较小,而本研究 Nfs 为 254,明显大于临界值 165($P<0.05$)。异质性分析结果显示仍然较大,2 种检验方法出现不一致性,因此引入秩相关检验(Begg and Mazumdar rank correlation)与线性回归检验(Egger's regression intercept)进一步验证。分析结果显示 $P>0.05$,最终证明本研究存在发表偏倚的可能性较小。

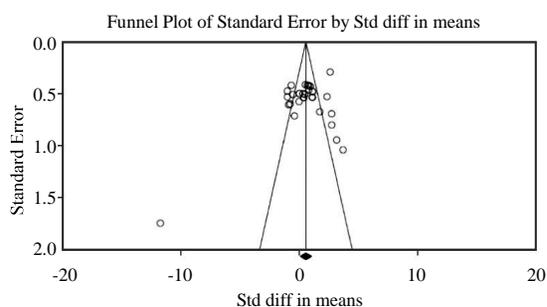


图 3 发表偏倚漏斗图

Figure 3 The publish bias funnel plot

3 讨论

低氧训练主要分为传统高原训练和模拟高原的低氧训练 2 种类型,即 HiHi、HiLo、HiHiLo,其目的是使运动员同时承受运动负荷和高原低氧双重刺激,从而提高运动员有氧代谢能力及抗氧能力。由于以往研究的实验设计相对不够严谨,以至于低氧训练的研究结果受到一些学者质疑,甚至部分学者认为低氧训练并不能达到提高运动表现的目的^[42-43]。

3.1 不同类型低氧训练影响 Hb 浓度提升效果

本研究结果发现,低氧训练后的 Hb 浓度平均升高 5.57 g/L。其中 HiLo 模式对提高运动员 Hb 水平的效果最为显著,高于其他训练模式。但有研究表明,HiHiLo 模式对 Hb 浓度提升表现最佳^[25]。与本研究分析结果存在偏差。在研究低氧训练过程中各阶段 Hb 浓度时,训练结束时比训练过程中 Hb 浓度要高。有相关研究证实这一观点,王亚兰^[44]对 32 名游泳运动员以海拔高度为条件进行随机分组,进行为期 4 周的 HiLo 模式训练,结果表明除海拔高度为 2 500 m, Hb 浓度在第 2 周略有下降趋势,其余都随

着训练时间推进 Hb 浓度逐日递增,其中部分差异认为可能是海拔高度的差异。但这与冯连世^[45]在对 20 世纪高原训练成果综合后提出的规律相背离,认为高原训练过程中 Hb 浓度变化规律为高原第 1 周有所升高,第 2 周接近平时水平,3~4 周略显下降。目前,低氧训练的最佳持续时间一直未有定论。本研究结果显示 4 周训练持续时间对 Hb 水平影响效果最佳,明显优于训练持续时间不足 4 周的低氧训练。综合前人研究,国内学者也普遍认为 4~6 周的高原训练比较合适^[46]。原因可能是运动员从普通环境到低氧环境需要一个适应过程,训练时间过长不利于机体低氧后调整,时间过短不利于机体产生适应性变化。此外还发现,不同性别的亚组分析结果无显著差异。但有学者持相反态度^[47],认为女性 Hb 浓度提升幅度大于男性。

一般而言,运动员进入低氧环境后,由于体液从血管内进入组织液和细胞内,血浆量减少,Hb 浓度增加。低氧环境还可以促进体内促红细胞生成素升高和红细胞增多,并促进 Hb 水平提升,从而提高运氧能力^[48]^[403]。尽管不同低氧训练模式在训练内容、手段、负荷控制等方面存在差异,但其在促进 Hb 浓度提升的原理上比较相似,都是通过缺氧刺激提高血液中促红细胞生成素的含量,血液中红细胞数量增加并提升 Hb 浓度,增强血液携氧能力,从而提升机体长时间工作的能力水平^[1]。现有文献报告的结果或多或少存在一定的异质性,可能是被试对象和实验设计的差异所致,原因需要进一步探讨。

3.2 低氧训练过程中影响 Hb 浓度的其他因素

3.2.1 海拔高度(模拟海拔高度)的选择

随着海拔高度不断升高,大气压和氧分压不断降低,氧从肺泡到肺毛细血管的扩散能力受到影响,动脉血中氧饱和度降低。在这种条件下,机体组织氧供应能力不断适应环境而发生变化,Hb 浓度升高至峰值就是其适应性表现之一。海拔高度与 Hb 浓度变化呈正相关,海拔每升高 1 000 m, Hb 浓度提升 4%^[1]。因纳入统计分析的文献依据不同海拔高度而设计,故结果存在一定差异。有学者分别探究了 HiLo 模式在 2 000 m、2 500 m 及 3 000 m 等模拟海拔高度时对 Hb 浓度的影响,显示 2 500 m 增加最为显著(平均增加 8.4 g/L),3 000 m 增加最不显著(平均增加 5.3 g/L)^[44]。王瑞元等^[48]^[407]认为适宜的高度应具备 2 个条件,一方面是该高度对机体产生的深刻缺氧刺激,另一方面是机体承受较大的训练负荷。虽然海拔高度与训练负荷密切相关,但高原训练负



荷的“剂量”理论认为,高原训练效果主要取决于在适宜的海拔高度上停留足够长的时间,以提高Hb浓度和维持效应^[49]。鉴于此,在实施高原训练计划时,教练员不仅需要考虑海拔高度的因素,还要密切关注运动员机能变化和训练负荷反应,实时进行科学调整。

3.2.2 低氧训练的暴露次数

有无低氧训练经历的运动员,训练过程中Hb浓度产生效应不同。当有过低氧训练经历运动员再次暴露于低氧环境时,体内血浆腺苷水平升高,从而引起Hb浓度迅速上升,并在原始基础上重新上升一个更高水平,这一特征与适应速度呈正相关。换言之,红细胞具有“缺氧记忆”功能,当运动员之前有过低氧训练经历时,它可以促进机体更快适应缺氧^[50]。国内研究发现运动员连续3次高原训练后Hb浓度呈现出递增式变化特点^[51]。孟志军等^[52]通过实验证实,高原训练结束后,有过多次数(3~4次)高原训练经历运动员能把高原训练的良好效应保持2周。国外研究也进一步验证了这一观点^[53],随着低氧暴露次数增加,低氧训练后效应更加明显。此外,与有过多次数低氧暴露经验的运动员相比,初上高原运动员的训练安排应有不同,如整体训练周期更短,训练负荷强度更大。

4 结论

本研究通过循证医学系统评价的方法,对24篇文献中289名成年运动员的Hb指标进行Meta分析,研究发现:(1)低氧训练对提高运动员Hb浓度有一定效果,其中HiLo模式对提高运动员Hb水平最为显著,HiHiLo模式次之,HiHi模式收效甚微;(2)在HiLo模式训练整个过程的Hb水平不同,训练结束即刻测得Hb水平相对较高;(3)HiLo模式对不同性别运动员Hb浓度影响无显著差异。

不同类型低氧训练方法对提升Hb浓度水平的效果存在差异性,可能是低氧训练整体时间的安排、海拔高度选择、训练负荷控制等因素造成的。

参考文献:

[1] 赵鹏,冯连世.新的低氧训练模式研究及应用进展[J]. 体育科学,2005(6):70-74,78.
 [2] 常玉,高炳宏.5周高原训练期间优秀男子游泳运动员心率变异性指标的变化特点[J].中国运动医学杂志,2019,38(3):194-200.
 [3] 邱俊,陈文鹤.高住低训和高原训练对优秀现代五项运

动员运动能力的影响[J].上海体育学院学报,2011,35(1):67-72.

- [4] 高欢,高炳宏,冯连世,等.长时间高原训练对优秀赛艇运动员免疫机能及血浆瘦素的影响[J].中国运动医学杂志,2011,30(11):986-991.
 [5] 赵晋,王庆君,刘爱杰,等.高原训练对我国优秀赛艇运动员血清睾酮、皮质醇及血睾酮/皮质醇的影响[J].中国运动医学杂志,1997(2):58-60.
 [6] LEVINE B D, STRAY-GUNDERSEN J, DUHAIME G, et al. "Living high-training low": The effect of altitude acclimatization/normoxic training in trained runners[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1991, 23:S25.
 [7] DEHNERT C, HÜTLER M, LIU Y, et al. Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes[J]. International Journal of Sports Medicine, 2002, 23(8):561-566.
 [8] PELTONEN J E, LEPPÄVUORI A P, KYRÖ K P, et al. Arterial haemoglobin oxygen saturation is affected by F(I)O₂ at submaximal running velocities in elite athletes[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 1999, 9(5):265-271.
 [9] 任志勇,乔玉成.高原训练效果的系统评价[J].体育研究与教育,2013,28(6):104-113.
 [10] 夏小慧,胡扬,王卉,等.间歇性低氧训练对运动员有氧耐力影响的系统综述[J].上海体育学院学报,2012,36(1):68-72.
 [11] 董宏,刘宝,刘桦玮,等.间歇性低氧训练对运动员有氧能力影响的Meta分析[J].体育科学,2016,36(10):67-73.
 [12] LIBERATI A, ALTMAN D G, TETZLAFF J, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration[J]. Epidemiology Biostatistics & Public Health, 2009, 6(10):e1-e34.
 [13] COHEN J. Statistical power analysis for the behavioral sciences[M]. London: Routledge, 1988.
 [14] HIGGINS J P, THOMPSON S G, DEEKS J J, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses[J]. British Medical Journal, 2003, 327(7414):557-560.
 [15] FIELD A P. The problems in using fixed-effects models of meta-analysis on real-world data[J]. Understanding Statistics, 2003, 2(2):105-124.
 [16] HAGGER M S, WOOD C, STIFF C, et al. Ego depletion and the strength model of self-control: A meta-analysis[J]. Psychological Bulletin, 2010, 136(4):495-525.
 [17] 张纛,胡扬.不同氧浓度的高住高练低训对红细胞等血象指标的影响[J].体育科学,2005(11):31-34.
 [18] 陈立,刘海平,胡扬.HiHiLo和LoHi对提高现代五项运动员运动能力的比较研究[J].广州体育学院学报,



- 2009,29(3):83-86.
- [19] 陈艳萍,蔡爱芳,刘振宇,等.HiHiLo 和 LoHi 对男子中长跑运动员 EPO、红细胞及网织红细胞参数影响的比较研究[J].山东体育学院学报,2010,26(2):50-54.
- [20] 李家旺.自行车短距离项目男子运动员四周 HiHiLo 训练中血液生化指标变化的研究[J].南京体育学院学报(自然科学版),2015,14(4):38-42.
- [21] 张月,樊志勇,高炳宏.HiHiLo 对上海女子赛艇运动员部分血液指标及机能状态的影响[J].体育科研,2017,38(2):64-69.
- [22] 包大鹏,胡扬,曹振水,等.HiHiLo 对优秀男子中跑运动员有氧运动能力的影响[J].体育科学,2007(4):55-58.
- [23] 高颀,朱荣,田野,等.HiHiLo 对国家跆拳道女运动员血像、红细胞 2,3-DPG 和有氧能力的影响[J].北京体育大学学报,2008(3):333-335.
- [24] 刘海平,胡扬,田野,等.HiHiLo 与 LoHi 两种低氧训练效果的比较研究[J].体育科学,2006(4):58-61,75.
- [25] 高炳宏,王道,陈坚,等.LoHi 和 HiHiLo 训练对女子赛艇运动员运动能力影响的比较研究[J].体育科学,2005(11):35-41,44.
- [26] 周志宏,刘建红,王奎,等.利用低氧帐篷进行“高住低练”对划船运动员运动能力影响的初探[J].中国运动医学杂志,2003,22(3):258-262.
- [27] 马校军,徐刚,王安利,等.中国女子皮艇队运动员高住低训期间身体机能变化分析[J].中国运动医学杂志,2010,29(2):149-152,148.
- [28] 曹艳霞,李登光,高克莲.女子皮划艇队员 HiLo 与 LoHi 训练后血象指标变化探析[J].陕西科技大学学报(自然科学版),2011,29(1):195-198.
- [29] 黄亚茹,郑红军,潘峰,等.高住低训对国家男子橄榄球运动员体能的影响[J].中国体育科技,2007(6):59-62.
- [30] 高瑞生,刘善云.天津男子橄榄球运动员高原冬训期间心率及某些生化指标的变化[J].中国应用生理学杂志,2019,35(5):393-395.
- [31] 姚一鸣,邱俊强.18d 亚高原训练对花样滑冰运动员生理机能及运动表现的影响[J].北京体育大学学报,2018,41(12):85-90.
- [32] 孟志军,高炳宏,高欢.男子赛艇运动员高原训练机能变化与专项成绩的个体差异研究[J].中国体育科技,2014,50(2):46-51,55.
- [33] 马琳.优秀女子赛艇运动员高原训练监控[J].北京体育大学学报,2011,34(4):60-63.
- [34] 李越.中国优秀女子皮艇运动员高原训练期间 BU、CK、Hb、Fe 和 T/C 值变化分析[J].中国运动医学杂志,2010,29(4):395-398.
- [35] 陶小平,陶新连.我国优秀男子划艇运动员“能力主导型”高原训练期间机能指标变化[J].天津体育学院学报,2010,25(2):130-133.
- [36] 陈琳.赛前高原训练对优秀男子游泳运动员身体机能的影响[J].北京体育大学学报,2010,33(5):132-134.
- [37] 郭艳艳,李捷,倪萌.优秀竞走运动员高原训练期间身体机能监控的研究[J].广州体育学院学报,2009,29(2):91-93,97.
- [38] 樊小兵.高原训练对中长跑运动员血液携氧能力的影响[J].北京体育大学学报,2008,31(9):1223-1224.
- [39] 陈伟,李戴源,任国都,等.国家皮艇队高原训练负荷及生化指标特征[J].中国组织工程研究与临床康复,2007,11(52):10503-10505.
- [40] 陈彩珍,曹文乔.对优秀花样游泳运动员高原训练的监控[J].中国运动医学杂志,2005,24(1):81-83.
- [41] ROTHSTEIN H R, SUTTON A J, BORENSTEIN M. Publication bias in meta-analysis [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- [42] LUNDBY C, ROBACH P. Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes? [J]. Experimental Physiology, 2016, 101(7):783-788.
- [43] GIRARD O, CHALABI H. Could altitude training benefit team-sport athletes? [J]. British Journal of Sports Medicine, 2013, 47(Suppl 1):i4-i5.
- [44] 兰亚红.三种 HiLo 模式对游泳运动员身体机能及运动成绩的影响[J].广州体育学院学报,2018,38(3):103-108.
- [45] 冯连世.高原训练及其研究现状(续完)[J].体育科学,1999(6):66-71.
- [46] 冯连世.高原训练的实践与研究[J].中国体育教练员,2009,17(4):16-17.
- [47] 沈艳梅,楼霞.不同性别游泳运动员高原训练生理生化的监控研究[J].辽宁体育科技,2010,32(3):31-33.
- [48] 王瑞元,苏全生.运动生理学[M].北京:人民体育出版社,2012.
- [49] LEVINE B D, STRAY-GUNDERSEN J. Dose-response of altitude training: How much altitude is enough? [J]. Advances in Experimental Medicine & Biology, 2006, 588:233-247.
- [50] SONG A, ZHANG Y, HAN L, et al. Erythrocytes retain hypoxic adenosine response for faster acclimatization upon re-ascent [J]. Nature Communications, 2017, 8:14108.
- [51] 校军.国家皮艇队连续三次高原训练 Hb 变化的研究及其思考[C]// 中华人民共和国第十届运动会科学大会论文摘要汇编, [S.1.]:[s.n.],2005.
- [52] 孟志军,高炳宏,高欢.高原训练对男子赛艇运动员 EPO 和红细胞系等指标影响的研究[J].体育科技(广西),2012,33(2):75-80,85.
- [53] 王磊.高原训练的类型、场地和注意事项[J].中国体育教练员,2013(2):38-40.

(责任编辑:刘畅)