

吸气肌抗阻训练对业余马拉松跑者呼吸肌力的影响

王洋¹ 宋程伟¹ 穆慧琳¹ 刘岩¹ 朱厚远^{2*}

1 北华航天工业学院, 河北 廊坊 065000

2 河北师范大学, 河北 石家庄 050024

[摘要]目的: 本研究旨在通过探究吸气肌抗阻训练对业余马拉松跑者呼吸肌力的影响, 为科学系统的跑步提供理论依据。方法: 招募 43 名业余马拉松跑者随机分成实验组和对照组, 每周进行 3 次训练, 持续 6 周。两组均按照 90% 无氧阈强度进行 10km 有氧慢跑。实验组采用 50% MIP 强度进行吸气肌抗阻训练, 每次进行 2 组, 每组 30 次, 组间休息 3 分钟。对照组以 15% MIP 强度进行训练, 每次进行 1 组, 每组 60 次。在训练前后测试心肺运动试验、呼吸肌能力测试、静态肺测试。结果: 实验组和对照组、最大摄氧量、通气阈值、最大吸气压和最大呼气压均得到了显著提高 ($P < 0.01$)。与对照组相比, 实验组跑者的最大吸气压比对照组提升的更高 ($P < 0.05$)。结论: 呼吸肌联合有氧训练能够有效提高业余马拉松跑者的最大摄氧量、无氧阈、最大吸气压、最大呼气压, 其中采用 50% MIP 强度进行训练对吸气肌能力的提升更加显著。

[关键词] 马拉松; 业余跑者; 呼吸肌; 有氧能力

DOI: 10.33142/jscs.v4i1.11466

中图分类号: R654.3

文献标识码: A

Effect of Inspiratory Muscle Resistance Training on Respiratory Muscle Strength in Amateur Marathon Runners

WANG Yang¹, SONG Chengwei¹, MU Huilin¹, LIU Yan¹, ZHU Houyuan^{2*}

1 North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang, Hebei, 065000, China

2 Hebei Normal University, Shijiazhuang, Hebei, 050024, China

Abstract: Objective: this study aims to explore the effect of inspiratory muscle resistance training on the respiratory muscle strength of amateur Marathon runners, and provide theoretical basis for scientific and systematic running. Method: recruit 43 amateur Marathon runners and randomly divide them into an experimental group and a control group. Conduct training 3 times a week for 6 weeks. Both groups performed 10km aerobic jogging at a 90% anaerobic threshold intensity. The experimental group received inspiratory muscle resistance training at 50% MIP intensity, with 2 groups each time, 30 times per group, and a 3-minute break between groups. The control group received training at a 15% MIP intensity, with one group per session and 60 sessions per group. Test cardiopulmonary exercise test, respiratory muscle ability test, and static lung test before and after training. Result: the experimental group and control group, maximum oxygen uptake, ventilation threshold, maximum suction pressure, and maximum expiratory pressure were significantly increased ($P < 0.01$). Compared with the control group, the maximum inspiratory pressure of the experimental group runners was higher ($P < 0.05$). Conclusion: the combination of respiratory muscle strength and aerobic training can effectively improve the maximum oxygen uptake, anaerobic threshold, maximum inspiratory pressure, and maximum expiratory pressure of amateur Marathon runners. Among them, training with 50% MIP intensity has a more significant improvement in inspiratory muscle ability.

Keywords: Marathon; amateur runners; respiratory muscles; aerobic capacity

引言

随着现代生活方式的改变和健康意识的增强, 越来越多的人开始参与跑步活动, 并将其作为一种健身方式和生活乐趣的一部分。马拉松作为一项受欢迎的长跑赛事, 吸引了众多业余跑者的参与。对于这些业余跑者来说, 除了享受跑步带来的乐趣, 他们也希望能了解自己的身体状况和运动水平, 以便更好地进行训练和保持健康。

马拉松作为一项世界性运动机械年逐渐受到跑步爱好者的欢迎。在欧美, 马拉松选手的数量逐年增加^[1-2], 在中国, 马拉松赛事也越来越多^[3]。随着人们对这项赛事热情的提高^[4-6], 导致不同水平参赛者的范围也在不断

扩大, 马拉松运动会受到诸多跑者无法控制的因素的影响^[7-8], 例如, 在跑步环境方面^[7], 温度和湿度对各年龄组马拉松运动员的配速有不同的影响。在人体测量方面, 一些研究发现半程马拉松时间与体重呈负相关^[9]。在训练变量方面, 运动员的表现与一些训练变量呈正相关, 例如每周跑步距离(公里)、每周训练次数、平均锻炼速度和每周训练小时数^[10]。总体来说男性比女性更快^[5], 有经验的跑者步频要比新手更高, 同时能量消耗更少^[11], 较低的触地时间也能带来更好的运动表现^[12]。

在长跑过程中, 呼吸肌功能也是一个至关重要的生理功能, 它直接影响到运动员的耐力和表现。越来越多

的研究表明呼吸肌与跑步表现和运动能力之间存在一定的关联^[13]。跑步时,呼吸肌群需要提供足够的力量以满足气体交换的需求,而强健的呼吸肌群能够提供更好的呼吸效率和供氧能力,从而影响跑步的持久性和速度。呼吸肌力量在呼吸过程中发挥着重要作用,被视为呼吸容量和全身表现的重要标志^[14]。呼吸肌指的是参与呼吸过程的肌肉群,其中膈肌是最重要的肌肉,负责呼吸运动的正常进行^[15]。在进行高强度运动或者持续的运动时,呼吸肌的疲劳会增加交感神经活性和运动肢体血管收缩,导致血流不能充分到达肢体肌肉,这会严重影响运动表现。因此,进行呼吸肌训练可以减缓肌肉疲劳,从而改善运动表现。其中,最大吸气压(Maximum Inspiratory Pressure, MIP)和最大 MEP 压(Maximum Expiratory Pressure, MEP)是衡量呼吸肌肉力量的重要指标,对于评估呼吸功能和预测肺活量的变化具有重要意义^[16],其被广泛应用,是作为评估呼吸肌力量的有效指标^[17],是衡量膈肌强度快速且无创的一种方法^[18]。MIP 和 MEP 的测量方法通常通过使用特殊的装置,如负压峰值流量计或呼吸肌力量计,让被测者在最大吸气或最大呼气状态下测量此时产生的最大负压值^[19]。

近些年,随着跑者能力的提升,关于马拉松成绩的相关研究也层出不穷,大部分都集中于包括最大摄氧量为代表的有氧能力^[20],而关于马拉松跑者呼吸肌水平的评价却鲜有研究,呼吸肌水平的提升已经被实证可以提高中长跑的运动表现^[21]。因此,将马拉松跑者呼吸肌水平结合有氧训练对于训练业余马拉松跑者的有氧能力和吸气肌水平以及达到最佳成绩有很大的意义。

因此,本研究旨在通过对业余马拉松跑者进行吸气肌训练,探究其与呼吸肌和有氧能力之间的关系,以便为跑者的训练和健康管理提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究选取了 43 名业余马拉松跑者作为研究对象,年龄在 18-45 岁之间,均具有一定的马拉松训练基础。

1.2 研究方法

1.2.1 实验流程

本研究招募能够在 6 小时关门时间内完成比赛的业余马拉松跑者。所有受试者在参加测试前签署实验知情同意书并填写根据《运动相关心血管事件风险的评估与监测中国专家共识》^[22]设置的基线问卷进行风险分层,该问卷主要了解受试者的基本情况,包括近三个月的马拉松成绩、病史、运动情况、遗传病史等,旨在为受试者进行风险分层并收集基本信息,风险分层为高风险人群不能够参加本次测试。训练前后分别进行呼吸肌能力测试和心肺运动试验,进行 6 周吸气肌和有氧能力训练,这期间不进行其他训练。

1.2.2 呼吸肌能力测试

采用呼吸肌评估训练仪(美国 ATS 与欧洲 ERS,型号 JL-REX01F,压差传感器,误差 0.5cmH₂O)进行 MIP 和 MEP 数据收集^[16]。在测量过程中,统一操作员遵循统一的指导方针对所有跑者进行测量。受试者以直立姿势坐在椅前 1/2 处,清理鼻腔异物,戴上鼻夹,双腿打开踩地与肩同宽,上身挺直。MIP 测试要求受试者完全呼气至残气量,然后呼完瞬间用嘴包严咬嘴,用口吸气约 3 秒钟,测试操作员通过口头鼓励受试者。MEP 测试要求受试者完全吸气至饱和,然后吸完瞬间用嘴包住咬嘴,用口吐气约 3 秒钟,测试操作员通过口头鼓励受试者。由于时间原因,与提供特定热身不同,每个测试允许受试者进行 2 次最大尝试,每次尝试之间大约间隔 60 秒。如果操作不正确(例如使用颊肌),则不记录该尝试的测量结果。

1.2.3 心肺运动试验

心肺运动试验前向跑者详细讲解整个过程和注意事项。然后采用心肺运动功能测试仪(中国,瀚雅,型号 Smax58ce-sp)开始测试。受试者在跑步机上开始以 7km/h 的速度运动,持续 3 分钟。这个阶段被用来热身,让受试者适应运动。在 3 分钟后,受试者开始以每分钟递增 1km/h 的方式线性递增速度,坡度恒定 1%以模拟风速。

测试过程中采用运动心电图测试系统(匈牙利,Labtech,型号 EC-12S),该系统可以佩戴 10 导动态心电图和动态血压计,测试过程中还采用主观疲劳感觉(RPE)分级表。整个过程持续监控心电图、血压、主观疲劳感觉,以确保实验的安全性。

当满足以下 4 点中任意 2 点时,判定为达到最大摄氧量且运动可以终止:

- (1) 心率达到预计最大心率;
- (2) 呼吸商大于 1.10;
- (3) 随着运动强度的增加摄氧量不再上升或下降;
- (4) 受试者已发挥最大力量 RPE \geq 17。

当停止试验时,记录 VO₂max 以及当时的 VO₂max/kg。通气无氧阈的 AT 值根据 VO₂ 和 VCO₂ 的排出量关系曲线的拐点(V-slope 法)^[23]判定。将通气无氧阈时摄氧量除以最大摄氧量即得到 AT 占比,通过这一数值侧面反映跑者的有氧能力

1.2.4 静态肺测试

被测试者端坐在椅子上,保持直立姿势,佩戴好面罩,采用心肺运动功能测试仪(中国,瀚雅,型号 Smax58ce-sp)开始测试。向被测试者解释测试过程,包括吸气、憋气和呼气的步骤。确保被测试者理解测试的目的以及应该如何合作。

(1) 慢肺活量测试

让被试者进行 4~5 次平稳呼吸后,匀速深吸一口气,吸满肺部后缓慢、持续地呼出气体,直到不能再呼出为止。

记录数据。

(2) 用力肺活量测试

让被试者进行 4~5 次平稳呼吸后，快速将气体吸满后用力尽可能快速的把气体呼尽，整个呼气过程坚持 6s，憋气结束后重新吸满气体。记录数据。

(3) 分钟最大通气量测试

让被试者进行 4~5 次平稳呼吸后，快速完成 1 呼 1 吸，要求迅速而深，尽量使每一次呼吸都充分。整个过程持续 12s，取 6~12s 最优段记录数据。

1.2.5 训练安排

43 名业余跑者经过计算机随即编号分为实验组和对照组，对两组进行独立样本 T 检验以比较差异，如表 1 所示，训练前两组各项数值均没有显著差异。

表 1 实验组和对照组测试结果

指标	实验组 (n=21)	对照组 (n=22)	P 值
AT (%VO ₂ max)	82.08±9.17	81.50±11.67	0.945
VO ₂ max/kg (ml/min/kg)	43.01±6.45	43.61±7.70	0.856
SVC(L)	4.64±0.55	4.47±0.50	0.786
FVC(L)	4.61±0.57	4.44±0.53	0.310
FEV1(L)	3.78±0.55	3.60±0.54	0.309
MVV(L)	112.75±12.57	108.59±11.81	0.291
MIP(cmH ₂ O)	111.81±11.971	106.60±9.58	0.269
MEP(cmH ₂ O)	103.72±6.05	102.35±8.19	0.122

多项研究已证实，50%最大吸气压 (MIP) 强度的吸气肌训练对改善呼吸肌功能具有积极效果，而 15%MIP 的训练则对呼吸肌功能没有显著影响^[24-28]。因此，本研究基于前人的训练方法设计了以下训练方案^[26, 29]：每周进行 3 次训练，共持续 6 周。均按照心肺运动试验测量 90%无氧阈强度进行 10km 有氧慢跑，跑步过程中均佩戴手表监控心率。

实验组采用 50% MIP 强度进行训练，每次进行 2 组，每组 30 次，组间休息 3 分钟；对照组则以 15% MIP 强度进行训练，每次进行 1 组，每组 60 次。

在训练过程中，受试者在每次吸气时从残气量位置克服阻力用力吸气，直至胸廓无法进一步扩张为止。每次呼气时应保持缓慢而柔和。为确保达到目标训练强度，监测受试者每次呼吸的吸气压。整个训练过程中，受试者的呼吸节奏需要适当，以避免因呼吸频率和潮气量的增加而引起的过度通气。

2 研究结果

从表 2 可知，经过 6 周的吸气肌联合有氧训练，实验组和对照组最大摄氧量、通气阈值、最大吸气压和最大呼气压均得到了显著提高 (P<0.01)。与对照组相比，实验组跑者的最大吸气压比对照组提升得更高 (P<0.05)。这些数据表明，呼吸肌联合有氧训练能够有效提高业余马拉松跑者的最大摄氧量、无氧阈值、最大吸气压、最大呼

气压，其中采用 50% MIP 强度进行训练对吸气肌能力的提升更加有效。

表 2 两组干预前后肺功能的变化

	实验组 (n=21)		对照组 (n=22)	
	干预前	干预后	干预前	干预后
AT(%VO ₂ max)	82.08±9.17	83.76±9.13* *	81.50±11.67	82.58±11.40 **
VO ₂ max/kg (ml/min/kg)	43.01±6.45	44.51±6.55* *	43.61±7.70	44.71±7.67* *
SVC(L)	4.64±0.55	4.70±0.60	4.47±0.50	4.43±0.52
FVC(L)	4.61±0.57	4.72±0.48	4.44±0.53	4.44±0.53
FEV1(L)	3.78±0.55	3.82±0.55	3.60±0.54	3.63±0.60
MVV(L)	112.75±12.57	112.85±12.62	108.59±11.81	108.67±11.79
MIP(cmH ₂ O)	111.81±11.971	119.36±12.81**	106.60±9.58	110.60±9.41 **#
MEP(cmH ₂ O)	103.72±6.05	107.18±6.11**	102.35±8.19	104.84±8.18 **

** P<0.01, 组内 6 周干预后与干预前比较; #P<0.05, 实验组与对照组干预后比较。

3 讨论

国内外已经有众多学者根据对马拉松成绩影响因素的相关机制进行了不同的研究，主要集中在每周跑步距离、每周跑步次数、最大摄氧量等^[30]。但是关于呼吸肌的训练却并不是很多。而 MIP 和 MEP 为代表的呼吸肌力对于长跑和耐力训练尤为重要，因为在这些运动中，持续的氧气供应对于保持持久的运动能力至关重要。此外，较高的 MIP 和 MEP 还与跑步速度和爆发力相关。强大的呼吸肌肌力可以提供更大的呼吸流量和肺活量，使运动员能够在较高的运动强度下保持正常的呼吸频率和深度^[31, 32]。

以往关于呼吸肌的研究大多集中在病人与不跑步的健康人中，早在 2000 年，就有学者研究了具有正常肺功能的 18 至 82 岁健康成年人的 MIP 正常参考范围下限，以用于肺功能实验室在年轻和老年患者中的使用^[33]。在印尼健康年轻成年人中。胸廓扩张的快速简便测量可以用于筛查患者的呼吸肌强度^[34]。一个针对健康巴西儿童的最大呼吸压力研究表明，男孩的最大呼吸压力值高于女孩，呼吸压力随年龄增长而增加。最大吸气公式中包括年龄和性别，而最大 MEP 公式中包括女孩的年龄和男孩的体重^[35]。除此之外，还有众多学者对除了肺功能以外其他因素进行了相关性研究。2016 年的一项研究发现了健康的年轻人和中年人 MIP 和手握力之间的相关性，并且存在强相关性 (r=0.76)。并建立了一个多元线性回归模型，该研究认为这种间接评估可以帮助评估手伸肌和吸气肌之间的关系，特别是膈肌^[36]。2023 年最新的一项研究发现了巴西东北地区年龄在 41 到 80 岁之间的女性的吸气肌力与平衡

之间的关系。结果显示,吸气肌力弱使得在平衡测试中表现不佳的风险增加了三倍。对于早期识别有呼吸肌力弱或平衡障碍患者的风险对于预防目的和针对性治疗的发展至关重要^[37]。此外,呼吸系统的疾病或疾病状态也会对MIP产生影响^[36]。以往关于呼吸肌研究虽然对健康人和病人有帮助,但是样本量局限可推广性有限,同时缺乏评估标准化,报告的参考值也存在差异,并不适合运动人群。

马拉松运动作为一项极具挑战性的耐力运动,在长时间、高强度的运动过程中,呼吸肌力扮演着重要的角色,对维持呼吸功能和运动表现具有关键作用。多项研究表明马拉松运动会运动员的呼吸肌力产生一定的影响,在马拉松完成后,运动员的呼吸肌力会出现疲劳现象,是由于长时间高强度的运动导致呼吸肌肉疲劳,进而降低呼吸肌力^[38]。在超级马拉松运动中,运动员的呼吸肌力可能出现严重的疲劳^[39]。在高山超级马拉松比赛中发现,呼吸肌力疲劳程度更高,这可能与高海拔环境下的缺氧和负荷增加有关^[40]。但是马拉松运动后,虽然运动员的呼吸肌力和肺功能发生了变化,但恢复较快,所以马拉松运动对呼吸肌力产生的影响是暂时的,运动员的呼吸肌力在一定的恢复时间内可以恢复到正常水平^[41]。

呼吸肌力对马拉松运动的表现同样具有重要意义。在连续进行10天的马拉松比赛后,运动员的呼吸肌力和肺功能发生了显著变化。这表明马拉松运动对呼吸肌力的要求是持久且极限的,对于保持稳定的呼吸和气体交换至关重要^[42]。此外,运动员的呼吸肌力与外周肌肉力量和呼吸功能密切相关。良好的呼吸肌力有助于提高肺活量、增强呼吸效率,并为长时间持续运动提供稳定的呼吸支持^[43]。

由于呼吸肌力会影响到马拉松运动表现,所以对马拉松跑者进行呼吸肌力训练就至关重要。通过对多项研究进行分析发现,呼吸肌力训练对运动员的表现具有积极影响。通过针对呼吸肌肉的训练,可以增强呼吸肌力、提高肺活量和呼吸效率^[13]。进行呼吸肌力训练也可以改善运动员的最大摄氧量(VO_{2max})和呼吸阈值,并对肺功能产生积极影响,从而增强运动员的呼吸肌肉耐力和协调性,提高运动员在长时间持续运动中的呼吸稳定性和效率^[44]。针对呼吸肌肌力的训练方法,如呼吸肌力训练器的使用和特定的呼吸肌锻炼,可以被纳入跑步训练计划中,以提高跑步表现和整体身体适应能力^[45, 46]。

马拉松运动会运动员的呼吸肌力产生一定的影响,可能导致呼吸肌力疲劳。呼吸肌力对于马拉松运动的表现具有重要意义,良好的呼吸肌力可以增强肺功能、提高呼吸效率,并为长时间持续运动提供稳定的呼吸支持。呼吸肌力训练被认为是提高马拉松运动表现的有效策略之一,通过训练可以增强呼吸肌力、改善肺功能和无氧阈值,提高运动员的呼吸稳定性和持久力。

4 结论及建议

本研究表明,吸气肌训练能够有效提高业余马拉松跑者的最大吸气压。通过6周的呼吸肌力训练,实验组跑者的最大吸气压相比于对照组得到了显著提高。因此,建议业余马拉松跑者将呼吸肌力训练纳入日常训练计划中,以提高自身的生理性能和运动表现。

[参考文献]

- [1]Anthony D, Rüst C A, Cribari M, et al. Differences in participation and performance trends in age group half and full marathoners[J]. Chinese Journal of Physiology, 2014, 57(4): 209-219.
- [2]Knechtle B, Nikolaidis P T, Zingg M A, et al. Half-marathoners are younger and slower than marathoners[J]. SpringerPlus, 2016(5): 1-16.
- [3]Zuo Y, Zou L, Zhang M, et al. The temporal and spatial evolution of marathons in China from 2010 to 2018[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(24): 5046.
- [4]Burfoot A. The history of the marathon: 1976 - present[J]. Sports Medicine, 2007(37): 284-287.
- [5]Vitti A, Nikolaidis P T, Villiger E, et al. The "New York City Marathon": participation and performance trends of 1.2 M runners during half-century[J]. Research in Sports Medicine, 2020, 28(1): 121-137.
- [6]Knechtle B, Di Gangi S, Rüst C A, et al. Men's participation and performance in the Boston marathon from 1897 to 2017[J]. International journal of sports medicine, 2018, 39(13): 1018-1027.
- [7]Weiss K, Valero D, Villiger E, et al. The Influence of Environmental conditions on pacing in age group marathoners competing in the "New York City Marathon" [J]. Frontiers in Physiology, 2022(13): 842935.
- [8]Weiss K, Valero D, Villiger E, et al. Temperature and barometric pressure are related to running speed and pacing of the fastest runners in the 'Berlin Marathon' [J]. European Review for Medical & Pharmacological Sciences, 2022, 26(12).
- [9]Zillmann T, Knechtle B, Rüst C A, et al. Comparison of training and anthropometric characteristics between recreational male half-marathoners and marathoners[J]. Chin J Physiol, 2013, 56(3): 138-146.
- [10]Rüst C A, Knechtle B, Knechtle P, et al. Predictor variables for a half marathon race time in recreational male runners[J]. Open access journal of

- sports medicine,2011():113-119.
- [11]De Ruiter C J, Verdijk P W L, Werker W, et al. Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners[J].European Journal of Sport Science,2014,14(3):251-8.
- [12]Santos-Concejero J, Granados C, Irazusta J, et al. Differences in ground contact time explain the less efficient running economy in north african runners[J].Biology of sport,2013,30(3):181-187.
- [13]HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna T R, et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses[J].The Journal of Strength & Conditioning Research,2013,27(6):1643-1663.
- [14]SILVA P E, DE CARVALHO K L, FRAZÃO M, et al. Assessment of Maximum Dynamic Inspiratory Pressure [J].Respiratory Care,2018,63(10):1231-8.
- [15]WEST J B. Respiratory physiology: the essentials [M].La Jolla, San Diego, California:Lippincott Williams & Wilkins,2012.
- [16]Pessoa I, Schlauser M B, Parreira V F, et al. Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review[J].Canadian respiratory journal,2014(21):43-50.
- [17]李兵林,罗慰慈,黄席珍.吸气与呼气最大口腔压力测量及意义[J].国外医学.呼吸系统分册,1986(1).
- [18]Sachs M C, Enright P L, Stukovsky K D H, et al. Performance of maximum inspiratory pressure tests and maximum inspiratory pressure reference equations for 4 race/ethnic groups[J].Respiratory care,2009,54(10):1321-1328.
- [19]Schoser B, Fong E, Geberhiwot T, et al. Maximum inspiratory pressure as a clinically meaningful trial endpoint for neuromuscular diseases: a comprehensive review of the literature[J].Orphanet journal of rare diseases,2017(12):1-12.
- [20]Nikolaidis P T, Knechtel B. Participation and performance characteristics in half-marathon run: a brief narrative review[J].Journal of muscle research and cell motility,2023,44(2):115-122.
- [21]Chang Y C, Chang H Y, Ho C C, et al. Effects of 4-week inspiratory muscle training on sport performance in college 800-meter track runners[J].Medicina,2021,57(1):72.
- [22]赵之光,陈浩,张倩,等.运动相关心血管事件风险的评估与监测中国专家共识[J].中国循环杂志,2022,37(7):659-68.
- [23]Beaver W L, Wasserman K, Whipp B J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange[J].Journal of applied physiology,1986,60(6):2020-2.
- [24]Archiza B, Andaku D K, Caruso F C R, et al. Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial[J].Journal of sports sciences,2018,36(7):771-780.
- [25]Caine M P, McConnell A K. Pressure threshold inspiratory muscle training improves submaximal cycling performance[Z]//Third Annual Conference of the European College of Sport Science. The Centre for Health Care Development Manchester,UK,1998:101.
- [26]Volianitis S, McConnell A K, Koutedakis Y, et al. Inspiratory muscle training improves rowing performance[J].Medicine & Science in Sports & Exercise,2001,33(5):803-809.
- [27]Cunha M, Mendes F, Paciência I, et al. The effect of inspiratory muscle training on swimming performance, inspiratory muscle strength, lung function, and perceived breathlessness in elite swimmers: a randomized controlled trial[J].Porto biomedical journal,2019,4(6).
- [28]刘骏.吸气肌训练对常氧和低氧条件下运动呼吸功能的影响[J].体育科学,2007,27(3):38-42.
- [29]帅贞瑜,吴晓薇,刘昊扬,等.8周吸气肌抗阻训练提高青年男性有氧运动能力的可行性研究[J].第十二届全国体育科学大会论文摘要汇编——专题报告(体能训练分会),2022(2).
- [30]Doherty C, Keogh A, Davenport J, et al. An evaluation of the training determinants of marathon performance: A meta-analysis with meta-regression[J].Journal of science and medicine in sport,2020,23(2):182-188.
- [31]Kilding A E, Brown S, McConnell A K. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance[J].European journal of applied physiology,2010(108):505-511.
- [32]Romer L M, Polkey M I. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance[J].Journal of Applied Physiology,2008,104(3):879-888.
- [33]Hautmann H, Hefele S, Schotten K, et al. Maximal inspiratory mouth pressures (PIMAX) in healthy

subjects — what is the lower limit of normal?[J]. *Respiratory medicine*, 2000, 94(7): 689–693.

[34]Gopalakrishna A, Vaishali K, Prem V, et al. Normative values for maximal respiratory pressures in an Indian Mangalore population: A cross-sectional pilot study[J]. *Lung india: official organ of Indian*, 2011, 28(4): 247–52.

[35]Marcelino A A, Fregonezi G A, Lira M G, et al. New reference values for maximum respiratory pressures in healthy Brazilian children following guidelines recommendations: A regional study[J]. *Plos one*, 2022, 17(12): 0279473.

[36]Raab A M, Krebs J, Perret C, et al. Maximum inspiratory pressure is a discriminator of pneumonia in individuals with spinal-cord injury[J]. *Respiratory care*, 2016, 61(12): 1636–1643.

[37]Azevedo I G, da Câmara S M A, Maciel A C C, et al. Relationship between inspiratory muscle strength and balance in women: A cross-sectional study[J]. *Plos one*, 2023, 18(2): 0280465.

[38]Loke J, Mahler D A, Virgulito J A. Respiratory muscle fatigue after marathon running[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1982, 52(4): 821–824.

[39]Ker J A, Schultz C M. Respiratory muscle fatigue after an ultra-marathon measured as inspiratory task failure[J]. *International journal of sports medicine*, 1996, 17(7): 493–496.

[40]Wuthrich T U, Marty J, Kerherve H, et al. Aspects of respiratory muscle fatigue in a mountain ultramarathon race[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, 47(3): 519–527.

[41]Ross E, Middleton N, Shave R, et al. Changes in respiratory muscle and lung function following

marathon running in man[J]. *Journal of sports sciences*, 2008, 26(12): 1295–1301.

[42]Tiller N B, Turner L A, Taylor B J. Pulmonary and respiratory muscle function in response to 10 marathons in 10 days[J]. *European journal of applied physiology*, 2019(119): 509–518.

[43]Ak ı no ğ lu B, Kocahan T, Özkan T. The relationship between peripheral muscle strength and respiratory function and respiratory muscle strength in athletes[J]. *Journal of exercise rehabilitation*, 2019, 15(1): 44.

[44]Amonette W E, Dupler T L. The effects of respiratory muscle training on V02max, the ventilatory threshold and pulmonary function[J]. *Journal of Exercise Physiology*, 2002, 5(2): 29–35.

[45]Harms C A, Wetter T J, McClaran S R, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise[J]. *Journal of app*, 1998, 85(2): 609–18.

[46]Gething A D, Passfield L, Davies B. The effects of different inspiratory muscle training intensities on exercising heart rate and perceived exertion[J]. *European journal of applied physiology*, 2004(92): 50–55.

作者简介: 王洋 (1998—), 女, 汉族, 河北唐山人, 硕士, 北华航天工业学院, 研究方向: 体育教育训练学; 宋程伟 (1997—), 男, 汉族, 甘肃兰州人, 硕士, 北华航天工业学院, 研究方向: 体育教育训练学; 穆慧琳 (1998—), 女, 汉族, 河南新乡人, 硕士, 北华航天工业学院, 研究方向: 体育教育训练学; 刘岩 (1998—), 男, 汉族, 河南焦作人, 硕士, 北华航天工业学院, 研究方向: 体育教育训练学; *通讯作者: 朱厚远 (1997—), 男, 汉族, 河北廊坊人, 硕士, 河北师范大学, 研究方向: 体能训练。