

极简鞋对足肌肌肉形态影响的系统性评价与 Meta 分析

白啸天¹, 陈昭颖², 宋以玲¹, 王 烨¹, 刘静民¹

<https://doi.org/10.12307/2024.232>

投稿日期: 2023-01-11

采用日期: 2023-02-18

修回日期: 2023-04-25

在线日期: 2023-05-20

中图分类号:

R459.9; R319; Q445

文章编号:

2095-4344(2024)04-00646-05

文献标识码: A

文题释义:

极简鞋: 是介于传统跑鞋和赤足之间的运动鞋, 用于模仿裸足跑的运动特征。极简鞋通常无中底缓冲设计, 质量较轻, 通过较薄的鞋底设计以充分发挥足部本体感觉, 同时保护足部皮肤不受地面伤害。

足肌: 通常指足内在肌, 可分为足背肌和足底肌两部分, 足肌对维持足部形态、保证足局部稳定具有重要作用。

摘要

目的: 随着模拟裸足跑运动的流行, 极简鞋运动成为了新兴的足部锻炼方式; 足肌作为足部重要肌群, 其形态的维持对足功能执行尤为重要。文章通过梳理近年来有关极简鞋对足肌形态影响的文献, 系统性评价极简鞋相比于传统跑鞋对足肌形态的影响效果。

方法: 以“minimal shoes、minimal footwear、minimalist shoes、minimalist footwear、foot muscle、feet muscle; 极简鞋、足部肌肉”为关键词, 在PubMed、Web of Science、ProQuest、中国知网和万方数据知识库检索2012–2022年间发表的相关中、英文文献。应用Review Manager 5.4.1和Stata 14软件对纳入文献进行Meta分析、敏感性检验, 采用Egger法对文献的发表偏倚进行检验, 采用Meta回归对存在异质性的亚组进行判别。

结果: 与传统跑鞋相比, 极简鞋可增加拇展肌的肌肉围度[SMD=2.034, 95%CI(1.192, 2.877), Z=4.73, P<0.001], 经过剪补法后结果未发生反转, 合并效应较为稳健(P<0.05); 对于趾短屈肌, 总合并效应并未显示出传统跑鞋和极简鞋之间存在差异[SMD=0.470, 95%CI(-0.45, 1.39), Z=1.00, P=0.318]。

结论: 相比于传统跑鞋, 极简鞋干预可以有效提高拇展肌的肌肉围度, 但对趾短屈肌的促进作用并不明显; 极简鞋运动对内侧纵弓的维持具有一定积极意义, 但未来还需丰富极简鞋对不同足内在肌、不同人群的研究内容, 以进一步探究极简鞋干预对足功能的促进机制。

关键词: 极简鞋; 足肌; 拇展肌; 趾短屈肌; 足形态; Meta分析

文章快速阅读: 极简鞋对拇展肌和趾短屈肌肌肉形态的影响

足肌作为足部重要肌群, 其形态的维持对足功能执行尤为重要, 极简鞋运动作为新兴的足部锻炼方式对足肌形态的影响需进一步梳理。

文章通过 Meta 分析, 探究极简鞋相比于传统跑鞋对拇展肌和趾短屈肌肌肉形态的影响。

此次研究果表明, 相比于传统跑鞋, 极简鞋运动可提高拇展肌的肌肉围度, 但对趾短屈肌的促进作用并不明显。

Effect of minimalist shoes on foot muscle morphology: systematic evaluation and Meta-analysis

Bai Xiaotian¹, Chen Zhaoying², Song Yiling¹, Wang Ye¹, Liu Jingmin¹

¹Department of Physical Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China; ²The Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China

Bai Xiaotian, PhD candidate, Department of Physical Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Corresponding author: Liu Jingmin, Professor, Department of Physical Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract

OBJECTIVE: With the popularity of simulated barefoot running, minimalist shoes have become a new way of foot exercise. As an important muscle group of the foot, the maintenance of foot muscle morphology is important for the execution of foot functions. In this paper, by combing the literature about the effect of minimalist shoes on foot muscle morphology in recent years, we systematically evaluate the effect of minimalist shoes on foot muscle morphology compared with traditional running shoes.

METHODS: The relevant articles published from 2012 to 2022 were searched in Chinese and English databases (PubMed, Web of Science, ProQuest, CNKI and WanFang databases) with “minimal shoes, minimal footwear, minimalist shoes, minimalist footwear, foot muscle, feet muscle” as Chinese and English keywords, respectively. Meta-analysis, sensitivity tests were performed on the included literature using Review Manager 5.4.1 and Stata 14 software, the Egger method was used to test for publication bias in the literature, and Meta-regression was used to identify the subgroups with heterogeneity.

RESULTS: Compared with traditional running shoes, minimalist shoes increased muscle circumference of the abductor hallucis [standardized mean difference=2.034, 95% confidence interval (1.192, 2.877), Z=4.73, P<0.001]. And the results were not reversed after clipping and patching, with a more robust combined effect size (P<0.05). For the toe short flexors, the total combined effect size did not show a difference between traditional running shoes and

¹清华大学体育部, 北京市 100084; ²河北医科大学第三医院, 河北省石家庄市 050051

第一作者: 白啸天, 男, 1997年生, 河北省石家庄市人, 满族, 在读博士, 主要从事运动生物力学方面的研究。

通讯作者: 刘静民, 教授, 清华大学体育部, 北京市 100084

<https://orcid.org/0000-0002-0979-2716>(白啸天)

基金资助: 清华大学自主科研项目(2021THZWC15), 项目负责人: 王烨

引用本文: 白啸天, 陈昭颖, 宋以玲, 王烨, 刘静民. 极简鞋对足肌肌肉形态影响的系统性评价与 Meta 分析 [J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(4):646-650.



minimalist shoes [standardized mean difference=0.470, 95% confidence interval (-0.45, 1.39), $Z=1.00$, $P=0.318$].

CONCLUSION: Compared with traditional running shoes, minimalist shoes intervention can effectively improve muscle circumference of the abductor hallucis, but the promoting effect on the flexor digitorum brevis muscle is not obvious. Running in minimalist shoes has positive implications for the maintenance of the medial longitudinal arch, but it is necessary to enrich the research content of minimalist shoes on different foot muscles and different populations in order to further explore the mechanisms by which minimalist shoe interventions promote foot function.

Key words: minimalist shoes; foot muscle; abductor pollicis muscle; flexor digitorum brevis; foot morphology; Meta-analysis

Funding: Tsinghua University Independent Research Project, No. 2021THZWC15 (to WY)

How to cite this article: BAI XT, CHEN ZY, SONG YL, WANG Y, LIU JM. Effect of minimalist shoes on foot muscle morphology: systematic evaluation and Meta-analysis. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2024;28(4):646-650.

0 引言 Introduction

随着模拟裸足跑的流行,各大厂商开始推出极简鞋以满足部分裸足跑爱好者的需求。相比于传统跑鞋,极简鞋取消了中底的缓冲设计,前足和后足高度差更小,帮面刚性较低^[1],其设计既保护了足部皮肤免受外界环境的伤害,又可充分还原裸足跑的生物力学特征。

足肌通常指足内在肌,对维持足部形态、保证足局部稳定具有重要作用^[2]。调查表明,由于足肌较弱造成足踝功能下降是导致下肢损伤的重要因素^[2-3]。而极简鞋运动有助于刺激足部肌肉,充分发挥足踝功能。研究表明,极简鞋较薄的鞋底有助于足底感受器感知外界环境^[4]。在跑步时,受试者穿极简鞋相比于传统跑鞋踝关节做功增加^[5-6]。然而,足肌多位于足深层结构,其肌肉力量难以直接测量。现有研究发现,足部肌肉体积与其力量素质存在正相关^[7-8],因此,通过测量足肌肌肉形态可反映其肌肉强度。随着体医融合的发展,MRI技术可以有效测量足内在肌的厚度、横截面积和体积等肌肉形态指标。因此,此次研究旨在通过Meta分析综述近年来有关极简鞋对足肌肌肉形态影响的文章,为深入了解极简鞋对足部内在肌的影响机制提供理论支持与循证依据。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索者 第一、二作者。

1.1.2 资料库 PubMed、Web of Science ProQuest、中国知网和万方数据知识库。

1.1.3 检索词 英文检索词为“minimal shoes、minimal footwear、minimalist shoes、minimalist footwear、foot muscle、feet muscle”,中文检索关键词为“极简鞋、足部肌肉”等。

1.1.4 检索时限 2012-01-01/2022-12-17。

1.1.5 检索策略 文献检索策略如图1。

英文数据库
#1 minimal shoes [Mesh]
#2 minimal footwear [Mesh]
#3 minimalist shoes [Mesh]
#4 minimalist footwear [Mesh]
#5 foot muscle [Mesh]
#6 feet muscle [Mesh]
#7 #1 OR #2 OR #3 OR #4
#8 #5 OR #6
#9 #7 AND #8
中文数据库
#1 极简鞋 [主题]
#2 足部肌肉 [主题]
#3 #1 AND #2

图1 | 文献检索策略

Figure 1 | Retrieval strategy

1.2 纳入及排除标准

1.2.1 纳入标准 北大核心、CSCD、CSSCI级别的中外期刊或SCI、SSCI级别的英文期刊文章;研究设计为横断面研究或随机对照试验;研究对象为健康人群,试验组干预方式为极简鞋,对照组干预方式为传统跑鞋;结局指标为横截面积、厚度、体积等反映足肌肌肉围度的指标。

1.2.2 排除标准 综述、会议及报刊文献;重复发表或相同数据重复利用的文献;数据不全的文献;干预方式为组合干预的文献。

1.3 文献信息提取 对于纳入研究的文献,由2名研究人员通过阅读全文提取文献的研究类型、组别设置、受试者信息、运动时长、运动方式及结局指标等文献信息,通过Excel进行整理。对于随机对照试验,选取基线处理后的数据进行Meta分析,部分未做基线处理的数据采用以下公式根据其他文章研究结果进行标准化^[9-10]。

$$Corr = \frac{SD_{基线}^2 + SD_{终值}^2 - SD_{变化值}^2}{2 \times SD_{基线} \times SD_{终值}}$$

$$SD_{变化值} = \sqrt{SD_{基线}^2 + SD_{终值}^2 - (2 \times Corr \times SD_{基线} \times SD_{终值})}$$

式中,Corr表示某篇研究的配对资料的相关性,SD_{基线}表示基线数据的标准差,SD_{终值}表示终值数据的标准差,SD_{变化值}表示配对前后的差值的标准差。

1.4 文献质量评价 由第一、三作者对纳入文献进行质量评价。对于随机对照试验设计,采用Cochrane量表对文献的选择偏倚^[9](随机序列的产生、分配隐藏)、实施偏倚(受试者及研究者实施盲法)、测量偏倚(对结果处理的盲法)、随访偏倚(结果数据的完整性、失访和推出情况)、报告偏倚(研究结果的选择性报告)及其他可能存在的偏倚风险进行质量评价,评价分为“高风险(High risk of bias)”“低风险(Low risk of bias)”及“不确定(Unclear risk of bias)”3个等级,其中,“高风险”和“不确定”记0分,“低风险”记1分。

对于横断面研究,采用美国医疗保健研究与质量局(Agency for Healthcare Research and Quality, AHRQ)量表进行文献质量评价^[11],评价内容包括资料来源、受试者分组及纳入标准、评价及控制混杂因素的措施等11个条目,评价分为“是(Yes)”“否(No)”及“不确定(Unclear)”3个方面,其中“是”为1分,“否”和“不确定”为0分,对于第5条“实验人员的主观评价是否掩盖了研究对象其他方面?”采用相反的方式打分。

1.5 统计学分析 采用Review Manager 5.4.1进行文章的信息的整理及质量评价,采用Stata 14将纳入的文献进行Meta分析,分别对拇展肌

和趾短屈肌进行以下步骤的验证,以确保结果的可靠性。该文统计学方法已经清华大学统计学专家审核。

1.5.1 敏感性分析 逐一剔除文献,根据剔除单个文献后的合并效应与总合并效应95%CI的关系评价Meta分析结果的稳健性,当剔除文献后的合并效应在95%CI之外时,则取消纳入该文献,重新进行Meta分析。

1.5.2 Meta分析 将纳入的文献进行合并效应分析,结果以森林图表示,当 $I^2 > 50\%$ 时,采用随机效应模型分析,反之则采用固定效应模型分析^[9],以标准均值差(standardized mean difference, SMD)评价最终的合并结果。

1.5.3 亚组分析 根据年龄、运动方式、运动时长和研究类型进行Meta回归,探究各亚组与合并效应量的相关关系,当回归结果显著性 $P < 0.05$ 时,则对该指标进一步进行亚组分析。

1.5.4 发表偏倚检验 对于文献的发表偏倚,采用egger法进行检验,当 $P < 0.05$ 时则认为存在发表偏倚,采用剪补法与原结果进行稳健性验证。

2 结果 Results

2.1 文献检索结果 初步检索获得文献134篇,其中包括中文文献2篇、英文文献132篇,排除综述、会议文章及重复文献77篇,初筛得到文献57篇;进一步剔除与文研究不符的文献49篇,最终纳入文献8篇^[12-19],见图2。

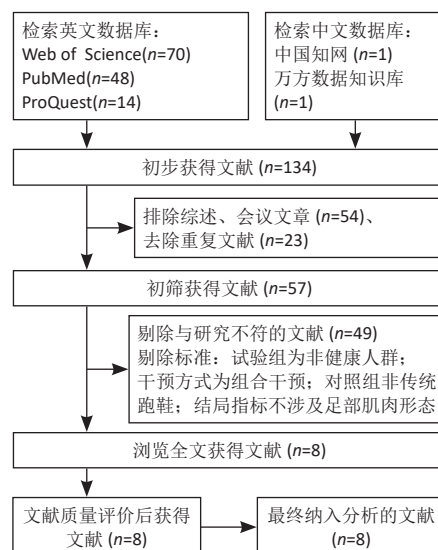


图2 | 文献筛选流程图

Figure 2 | Flow chart of literature screening

2.2 纳入文献特征 最终纳入此次研究的文献为8篇,其中随机对照试验6篇,横断面研究2篇,所纳入文献的具体信息见表1。

根据表 1 纳入文献的情况将此次研究进行分类：根据纳入文献特征，将年龄划分为 9-12 岁、18-50 岁以及 50 岁以上 3 种；将实验组穿极筒鞋运动方式分为行走、跑步和其他 3 种；将运动时长分为 12 周以下、12-24 周及 24 周以上 3 种；根据研究设计分为横断面研究和随机对照试验两种。根据纳入文献所研究的结局指标数量，由于趾长屈肌、拇短屈肌等指标的研究文献较少，仅对拇展肌和趾短屈肌进一步进行 Meta 分析。

2.3 纳入文献质量评价 对所纳入文献的总体评价及各文献偏倚情况见图 3、4。

所纳入文献的质量评分见表 2，其中文献质量为 3，4 分的各 1 篇，文献质量为 5，6，7 分的各 2 篇。

2.4 极筒鞋对拇展肌肌肉形态的影响

2.4.1 纳入文献敏感性分析 由表 3 可知，对纳入文献逐一剔除后，均位于总合并效应的 95%CI 区间内 (1.19, 2.88)，所纳入文献的稳健性较好。

2.4.2 Meta 分析结果 极筒鞋对拇展肌肌肉围度的合并效应分析森林图见图 5，与传统跑鞋相比，进行极筒鞋运动可增加拇展肌的肌肉围度 [SMD=2.034, 95%CI(1.192, 2.877), Z=4.73, P<0.001]。

2.4.3 亚组分析 极筒鞋对拇展肌肌肉围度的各协变量 Meta 回归结果见表 4，由表 4 可知，年龄、运动方式、运动时长、研究类型等协变量均不是影响研究异质性的原因。

2.4.4 发表偏倚检验 采用 Egger 检验对纳入文献进行发表偏倚检验，检验结果显示 P<0.001，表明有关极筒鞋对拇展肌肌肉围度影响的文献存在发表偏倚，采用剪补法进行文献稳健验证，当迭代次数为 4 时，补充的文献数量为 4 篇，补充后的漏斗图见图 6。最终得到文献数量 15 篇，异质性检验得 Q=246.20 (P<0.001)，采用随机效应模型，得到最终合并结果为 0.924[95%CI(0.00, 1.85), Z=1.96, P=0.050]，进一步精确计算得，当 Z=1.961 时，P=0.049 879 02 < 0.05，结果未发生逆转，合并结果稳健，相比于传统跑鞋，极筒鞋可提高拇展肌围度。

2.5 极筒鞋对趾短屈肌肌肉形态的影响

2.5.1 纳入文献敏感性分析 有关极筒鞋对趾短屈肌围度的影响效果文章见表 5，由表 5 可得，逐一剔除文章后的合并效应均在总合并效应的 95%CI 内 (-0.45, 1.39)，纳入文献的稳健性较好。

2.5.2 Meta 分析结果 极筒鞋对趾短屈肌肌肉围度的影响合并效应见图 7，极筒鞋与传统跑鞋对趾短屈肌围度的影响比较差异无显著性意义 [SMD=0.470, 95%CI(-0.45, 1.39), Z=1.00, P=0.318]。

2.5.3 亚组分析 极筒鞋对趾短屈肌的 Meta 回归结果见表 6，由表可知，年龄、运动方式、运动时长和研究类型均不是产生异质性的因素。

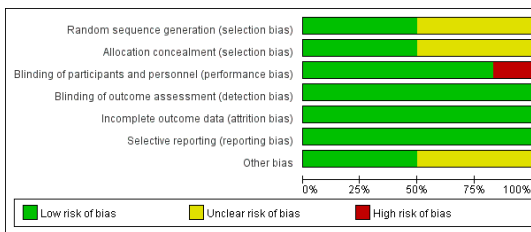
2.5.4 发表偏倚检验 Egger 检验结果表明，显著性水平 P=0.454，筛选后的文献不存在发表偏倚。

表 1 | 纳入文献的特征

Table 1 | Characteristics of the included articles

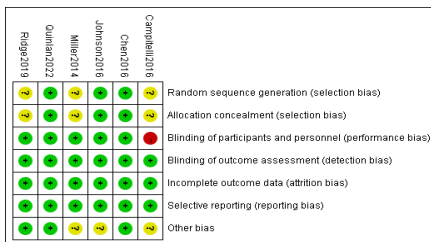
研究	组别设置	年龄	运动方式	运动时长	结局指标
CAMPITELLI 等 ^[12] , 2016 年	对照组 9 名 (6 男 3 女), 步行组 11 名 (5 男 6 女), 跑步组 10 名 (6 男 4 女)	20-33 岁	行走 12 周, 跑步 24 周	12 周, 24 周	拇展肌厚度
CHEN 等 ^[13] , 2016 年	对照组 18 名 (10 男 8 女), 试验组 20 名 (11 男 9 女)	20-45 岁	跑步	24 周	前足、中足、后足肌肉体积
JOHNSON 等 ^[14] , 2016 年	对照组 19 名 (未区分性别), 试验组 18 名 (10 男 8 女)	试验组 (24.4±6.2) 岁, 对照组 (27.7±6.2) 岁	跑步	10 周	拇展肌、趾短屈肌、拇短屈肌、趾短伸肌的肌肉厚度及横截面积
MILLER 等 ^[15] , 2014 年	对照组 13 名 (未区分性别), 试验组 16 名 (未区分性别)	试验组 (30.5±4.0) 岁, 对照组 (29.9±5.5) 岁	跑步	12 周	拇展肌、趾短屈肌和小趾外展肌的横截面积及体积
QUINLAN 等 ^[16] , 2022 年	对照组 34 名 (未区分性别), 试验组 30 名 (未区分性别)	9-12 岁	其他	36 周	趾短屈肌、拇展肌横截面积
RIDGE 等 ^[17] , 2019 年	对照组 11 名 (11 男 8 女), 试验组 19 人 (9 男 10 女)	18-34 岁	行走 4 周, 8 周		拇展肌、趾短屈肌、趾长屈肌、拇短屈肌、跖方肌、胫骨前肌和胫骨后肌横截面积
HOLOWKA 等 ^[18] , 2018 年	中性跑鞋 54 人 (男性), 极筒鞋人群 25 名 (男性)	50 岁以上	其他	生活习惯	拇展肌、趾短屈肌、小指外展肌横截面积
ZHANG 等 ^[19] , 2018 年	中性跑鞋 11 名 (7 男 4 女), 极筒鞋人群 7 名 (5 男 2 女)	18-50 岁	跑步	24 周以上	拇展肌、拇短屈肌、趾短屈肌、趾长屈肌、胫骨前肌、腓骨长肌和腓骨短肌横截面积及厚度

表注：试验组干预方式为极筒鞋，对照组干预方式为传统跑鞋



图注：Low risk of bias 为低风险；Unclear risk of bias 为不确定；High risk of bias 为高风险

图 3 | 随机对照试验总偏倚情况
Figure 3 | Total literature bias in the included randomized controlled trials



图注：+ 为低风险；? 为不确定；- 为高风险

图 4 | 随机对照试验各文献偏倚情况图
Figure 4 | Bias of each literature

表 2 | 纳入文献质量评分

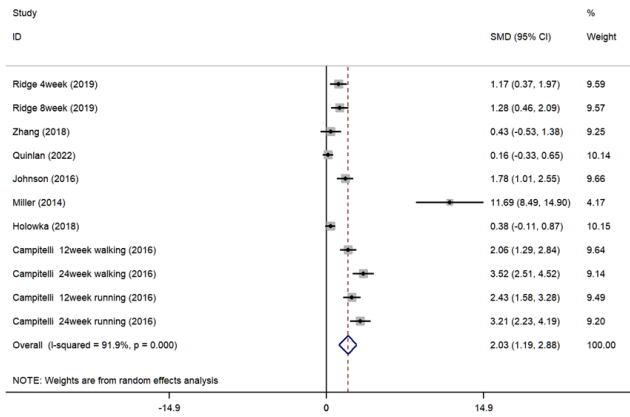
Table 2 | Quality scores of the included articles

纳入研究	研究类型	评价标准	文献质量评分
CAMPITELLI 等 ^[12] , 2016 年	随机对照试验	Cochrane 量表	3 分
CHEN 等 ^[13] , 2016 年	随机对照试验	Cochrane 量表	7 分
JOHNSON 等 ^[14] , 2016 年	随机对照试验	Cochrane 量表	6 分
MILLER 等 ^[15] , 2014 年	随机对照试验	Cochrane 量表	4 分
QUINLAN 等 ^[16] , 2022 年	随机对照试验	Cochrane 量表	7 分
RIDGE 等 ^[17] , 2019 年	随机对照试验	Cochrane 量表	5 分
HOLOWKA 等 ^[18] , 2018 年	横断面研究	AHRQ 量表	6 分
ZHANG 等 ^[19] , 2018 年	横断面研究	AHRQ 量表	5 分

表 3 | 逐一剔除单个研究的合并效应 (拇展肌)

Table 3 | Combined effect size of individual studies excluded (abductor hallucis)

纳入研究	剔除单个研究的效应值	95%CI
RIDGE 等 ^[17] 4 周 (2019 年)	2.15	1.22, 3.09
RIDGE 等 ^[17] 8 周 (2019 年)	2.14	1.21, 3.07
ZHANG 等 ^[19] (2018 年)	2.21	1.31, 3.12
QUINLAN 等 ^[16] (2022 年)	2.25	1.35, 3.15
JOHNSON 等 ^[14] (2016 年)	2.09	1.16, 3.02
MILLER 等 ^[15] (2014 年)	1.60	0.89, 2.31
HOLOWKA 等 ^[18] (2018 年)	2.25	1.31, 3.18
CAMPITELLI 等 ^[12] 12 周步行 (2016 年)	2.05	1.13, 2.97
CAMPITELLI 等 ^[12] 24 周步行 (2016 年)	1.85	1.02, 2.69
CAMPITELLI 等 ^[12] 12 周跑步 (2016 年)	2.00	1.10, 2.90
CAMPITELLI 等 ^[12] 24 周跑步 (2016 年)	1.90	1.04, 2.75
合并值	2.03	1.19, 2.88



图注：与传统跑鞋相比，进行极简鞋运动可增加拇展肌的肌肉围度 [SMD=2.034, 95%CI(1.192, 2.877)], Z=4.73, P<0.001]

图5 | 极简鞋与传统跑鞋对拇展肌影响的 Meta 分析结果

Figure 5 | Meta-analysis of the effect of minimalist and traditional running shoes on the abductor hallucis

表4 | 极简鞋对拇展肌肌肉围度的各协变量 Meta 回归结果

Table 4 | Meta-regression results for each covariate of minimalist shoes on muscle circumference of the abductor hallucis

协变量	回归系数	标准误差	95%CI	P 值
年龄	0.11	2.14	-4.72, 4.94	0.959
运动方式	-0.51	1.26	-3.36, 2.35	0.697
运动时长	-0.41	1.09	-2.87, 2.05	0.716
研究类型	-2.34	2.20	-7.31, 2.64	0.315

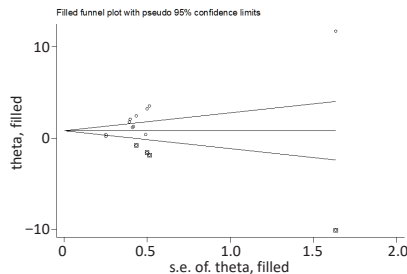


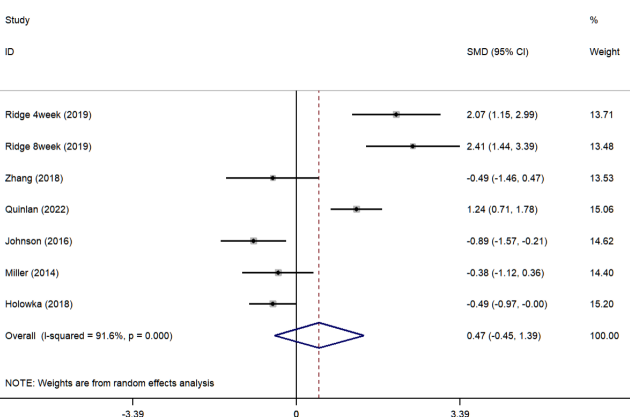
图6 | 补充缺失文献后的漏斗图

Figure 6 | Funnel plot after supplementing missing literature

表5 | 逐一剔除单个研究的合并效应 (趾短屈肌)

Table 5 | Combined effect sizes of individual studies excluded (flexor brevis digitorum)

纳入研究	剔除单个研究的效应值	95%CI
RIDGE 等 ^[17] 4周(2019年)	0.21	-0.72, 1.15
RIDGE 等 ^[17] 8周(2019年)	0.17	-0.73, 1.06
ZHANG 等 ^[19] (2018年)	0.62	-0.41, 1.65
QUINLAN 等 ^[16] (2022年)	0.33	-0.69, 1.36
JOHNSON 等 ^[14] (2016年)	0.70	-0.30, 1.70
MILLER 等 ^[15] (2014年)	0.62	-0.45, 1.68
HOLOWKA 等 ^[18] (2018年)	0.64	-0.43, 1.72
合并值	0.47	-0.45, 1.39



图注：极简鞋与传统跑鞋对趾短屈肌围度的影响比较差异无显著性意义 [SMD=0.470, 95%CI(-0.45, 1.39), Z=1.00, P=0.318]

图7 | 极简鞋与传统跑鞋对趾短屈肌影响的 Meta 分析结果

Figure 7 | Meta-analysis of the effect of minimalist and traditional running shoes on the flexor digitalis brevis muscle

表6 | 极简鞋对对趾短屈肌的 Meta 回归结果

Table 6 | Meta-regression results of the effect of minimalist shoes on the flexor digitalis brevis muscle

协变量	回归系数	标准误差	95%CI	P 值
年龄	-0.87	0.96	-3.32, 1.59	0.407
运动方式	-1.83	0.80	-3.89, 0.23	0.071
运动时长	-0.66	1.10	-3.49, 2.16	0.572
研究类型	-1.35	1.09	-4.15, 1.45	0.271

3 讨论 Discussion

极简鞋作为模拟裸足运动的锻炼方式，近年来受到学者的广泛关注。在跑步时，穿着极简鞋比传统跑鞋表现出更大的踝关节活动范围^[5-20]，同时，极简鞋相比于传统跑鞋在着地阶段的负载率更低^[21]，这提示极简鞋更充分发挥了足部的缓冲作用，表明极简鞋运动可能是提高足肌功能的有效训练方式。此次研究通过整理国内外文献，将极简鞋和传统跑鞋对足肌肌肉形态的影响效果进行系统性综述和 Meta 分析，在纳入的文献中，部分研究发现，相比于传统跑鞋，极简鞋运动干预后受试者的趾长屈肌、拇短屈肌、跖方肌和小指展肌胫骨前肌和胫骨后肌的肌肉截面积均得到不同程度的增加^[15, 17-18]，但 JOHNSON 等^[14]的研究结果表明，拇短屈肌在受试者由传统跑鞋过渡到极简鞋的跑步训练中并未发生显著的肌肉形态变化，ZHANG 等^[19]的研究对比习惯极简鞋跑者和习惯传统跑鞋跑者的趾长屈肌、胫骨前肌和腓骨短肌的横截面积和厚度，但未发现不同组别差异具有显著性。以上研究由于干预方法和研究设计不同，可能存在运动方式和干预时长的异质性。CHEN 等^[13]对下肢进行小腿、前足和后足肌肉区分，发现在 6 个月干预后，极简鞋组比传统跑鞋组腿部和前足肌肉体积明显增加，且极简鞋使用频率与小腿肌肉体积呈现正相关，同时在足部肌肉中，前足肌肉增长较为明显^[13]，而这可能与穿着极简鞋的着地方式为中足或前足触地有关。

整理纳入的文献资料可知，拇展肌和趾短屈肌是目前学者较为关注的足肌，此次研究对该类文章进行了 Meta 分析。此次研究发现，极简鞋相比于传统跑鞋对拇展肌肌肉围度的增加有更好的促进作用，但纳入该文的研究存在一定的发表偏倚，因此采用剪补法对纳入文献进行处理，最终结果尚未逆转，提示研究结果较为稳健。拇展肌起于跟骨内侧结节和足舟骨，止于拇趾近节趾骨底，由足底内侧神经支配，其主要功能为外展和屈曲拇趾，对足内侧纵弓的维持具有重要意义^[22-23]。在熟悉极简鞋跑步时，跑者更习惯中足或前掌触地，此时足趾通过外展增加触地面积来缓冲负荷，给予拇展肌较大的刺激^[24]，使其在长期的极简鞋运动后表现出更大的肌肉围度，表明相比于传统跑鞋，极简鞋运动锻炼拇展肌更为有效，有助于维持足内侧纵弓形态。在此次研究合并效应后，纳入的文献仍存在较大的一致性，但 Meta 回归的结果表明，不同的年龄、运动方式、运动时长、研究类型均不是造成异质性的主要原因。梳理文献信息发现，纳入的文献均为男女混合干预，且部分队列研究对极简鞋运动加入了适应性训练，因此年龄和极简鞋使用频率可能是造成合并结果出现异质性的原因。

趾短屈肌起于跟骨，止于第 2-5 趾骨基底，由足底内侧神经支配，其作用在于使第 2-5 足趾屈曲，并维持足部在运动中的稳定^[22, 24]。此次研究合并结果发现，相比于传统跑鞋，极简鞋并未表现出对趾短屈肌肌肉围度的促进作用。Meta 回归的结果表明，不同年龄、运动方式、运动时长均不存在异质性。在行走或后足着地

跑时,足分别以足跟轴、踝关节轴、跖趾关节轴和足趾轴滚动,在此过程中足底弹性组织得到弹性势能的储存和释放^[25-26]。KELLY等^[27]的研究发现,趾短屈肌等足内在肌在足底弹性势能的利用起着重要作用,但由于行走时负荷较小,因此并未展现极简鞋对趾短屈肌较好的刺激效果,后跟触地跑可能有助于锻炼趾短屈肌。传统跑鞋由于具有缓冲结构使得跑者更习惯于后跟着地跑^[28-29],而习惯极简鞋跑后,中足和前掌触地成为主要的着地方式^[6, 30],研究发现,前掌触地跑相比于中足和后足触地跑的地面反力载荷率较低^[21],且中足触地和前掌触地跑刺激的部位多为跖趾区,因此相比于传统跑鞋,极简鞋跑步对趾短屈肌的锻炼效果并不明显。

研究也存在一定的局限性:①由于对极简鞋影响足肌肌肉形态的相似研究较少,该文仅对足内在肌中的拇展肌和趾短屈肌进行了Meta分析,建议未来增加极简鞋对趾长屈肌、拇长屈肌等足外在肌肌肉形态的研究;②在干预方式上,部分研究进行了极简鞋适应性训练,因此难以确定具体的运动频率,这可能是纳入文献异质性较大的原因;③纳入文献多为男女混组,因此难以对性别的异质性进行亚组分析,探究极简鞋对不同性别的影响具有一定的必要性。

结论:相比于传统跑鞋,极简鞋干预可以有效提高拇展肌的肌肉围度,但对趾短屈肌的促进作用并不明显。极简鞋运动对内侧纵弓的维持具有一定积极意义,但未来还需丰富极简鞋对不同足内在肌、不同人群的研究内容,以进一步探究极简鞋干预对足功能的促进机制。

作者贡献:文章的设计和撰写由第一作者完成,文献的检索和质量评价由第一、二、三作者独立完成,如有意见相左时,由第一作者进行判断,第四和第五作者负责文章的审核。

利益冲突:文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明:这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让:文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范:该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] BARTON CJ, BONANNO D, MENZ HB. Development and evaluation of a tool for the assessment of footwear characteristics. *J Foot Ankle Res.* 2009;2:10.
- [2] 肖松林,张希妮,孙晓乐,等.基于足核心系统的足部功能增强研究进展[J].*中国康复理论与实践*,2020,26(10):1186-1192.
- [3] VAN DER WORP MP, TEN HAAFF DS, VAN CINGEL R, et al. Injuries in runners: a systematic review on risk factors and sex differences. *PLoS One.* 2015;10(2):e114937.
- [4] BOWSER BJ, ROSE WC, MCGRATH R, et al. Effect of Footwear on Dynamic Stability during Single-leg Jump Landings. *Int J Sports Med.* 2017;38(6):481-486.
- [5] MCCARTHY C, FLEMING N, DONNE B, et al. 12 weeks of simulated barefoot running changes foot-strike patterns in female runners. *Int J Sports Med.* 2014;35(5):443-450.
- [6] SQUADRONE R, RODANO R, HAMILL J, et al. Acute effect of different minimalist shoes on foot strike pattern and kinematics in rearfoot strikers during running. *J Sports Sci.* 2015;33(11):1196-1204.
- [7] BAXTER JR, PIAZZA SJ. Plantar flexor moment arm and muscle volume predict torque-generating capacity in young men. *J Appl Physiol.* 2014;116(5):538-544.
- [8] KUSAGAWA Y, KURIHARA T, MAEO S, et al. Associations between the size of individual plantar intrinsic and extrinsic foot muscles and toe flexor strength. *J Foot Ankle Res.* 2022;15(1):22.
- [9] HIGGINS JPT GS. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* 5.2.0. [2022-12-17] <http://www.cochrane.org/resources/handbook/hbook.htm> (accessed June 2017).
- [10] 侯筱,吕一帆,刘静民.肌肉电刺激力量训练影响运动者肌力的Meta分析[J].*中国组织工程研究*,2020,24(23):3764-3772.
- [11] 曾宪涛,刘慧,陈曦,等. Meta分析系列之四:观察性研究的质量评价工具[J].*中国循证心血管医学杂志*,2012,4(4):297-299.
- [12] CAMPITELLI NA, SPENCER SA, BERNHARD K, et al. Effect of Vibram FiveFingers Minimalist Shoes on the Abductor Hallucis Muscle. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2016;106(5):344-351.
- [13] CHEN TL, SZE LK, DAVIS IS, et al. Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2016;36:8-13.
- [14] JOHNSON AW, MYRER JW, MITCHELL UH, et al. The Effects of a Transition to Minimalist Shoe Running on Intrinsic Foot Muscle Size. *Int J Sports Med.* 2016;37(2):154-158.
- [15] MILLER EE, WHITCOME KK, LIEBERMAN DE, et al. The effect of minimal shoes on arch structure and intrinsic foot muscle strength. *J Sport Health Sci.* 2014;3(2):74-85.
- [16] QUINLAN S, SINCLAIR P, HUNT A, et al. The long-term effects of wearing moderate minimalist shoes on a child's foot strength, muscle structure and balance: A randomised controlled trial. *Gait Posture.* 2022;92:371-377.
- [17] RIDGE ST, OLSEN MT, BRUENING DA, et al. Walking in Minimalist Shoes Is Effective for Strengthening Foot Muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(1):104-113.
- [18] HOLOWKA NB, WALLACE IJ, LIEBERMAN DE. Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally- vs. conventionally-shod populations. *Sci Rep.* 2018;8:1-12.
- [19] ZHANG X, DELABASTITA T, LISSENS J, et al. The morphology of foot soft tissues is associated with running shoe type in healthy recreational runners. *J Sci Med Sport.* 2018;21(7):686-690.
- [20] FREDERICKS W, SWANK S, TEISBERG M, et al. Lower extremity biomechanical relationships with different speeds in traditional, minimalist, and barefoot footwear. *J Sports Sci Med.* 2015; 14(2):276-283.
- [21] RICE HM, JAMISON ST, DAVIS IS. Footwear Matters: Influence of Footwear and Foot Strike on Load Rates during Running. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(12):2462-2468.
- [22] 人体解剖学与组织胚胎学名词审定委员会. 人体解剖学名词[M].北京:科学出版社,2014.
- [23] 许正勇,张先熠.足部内在肌形态的测量和与人体静态平衡稳定性的关系[J].*体育学刊*,2016,23(2):133-137.
- [24] 罗林芬,邓群,陈立云,等.足底内侧和外侧群肌的肌内神经整体分布模式及临床意义[J].*解剖学报*,2021,52(2):264-269.
- [25] 詹姆斯·厄尔斯.行走的天性[M].北京:北京科学技术出版社,2018.
- [26] 张桑,张希妮,崔科东,等.足弓的运动功能进展及其在人体运动中的生物力学贡献[J].*体育科学*,2018,38(5):73-79.
- [27] KELLY LA, FARRIS DJ, CRESSWELL AG, et al. Intrinsic foot muscles contribute to elastic energy storage and return in the human foot. *J Appl Physiol (1985).* 2019;126(1):231-238.
- [28] BISHOP M, FIOLOKOWSKI P, CONRAD B, et al. Athletic footwear, leg stiffness, and running kinematics. *J Athl Train.* 2006;41(4):387-392.
- [29] LIEBERMAN DE, VENKADESAN M, WERBEL WA, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature.* 2010;463(7280):531-535.
- [30] 肖松林,孙晓乐,杨洋,等.跑鞋与触地模式的生物力学及其与损伤关系研究进展[J].*应用力学学报*,2022,39(2):201-208.

(责任编辑:GW, ZN, WL, LWJ)