

足部内在肌形态的测量和与人体静态平衡稳定性的关系

许正勇¹, 张先熠²

(1.广东外语外贸大学 体育部, 广东 广州 510006; 2.鲁汶大学 运动科学系, 比利时 鲁汶 3000)

摘 要: 为探究采用超声波技术测量足部内在肌形态的可重复性, 并通过对足部内在肌形态与闭眼单腿站立时间的相关性分析探讨足部内在肌对维持人体稳定性的影响。对 15 名健康青年受试者采用 B 型超声波技术重复测量趾短屈肌、拇短屈肌、拇展肌及小趾展肌等 4 个足部内在肌的纵向图像以及横截面图像, 用 ImageJ 图像处理软件测量肌肉厚度及横截面积, 用 SPSS 数据处理软件对两次测量数据进行组内相关系数(ICC)分析, 以检测该测试方式的可重复性; 同时还测量了闭眼单腿站立时间用以评价平衡稳定性, 并对其与 4 个足部内在肌的形态进行 Pearson 相关系数分析, 探讨内在肌形态对静态平衡能力的影响。结果发现: 采用超声波技术对足部内在肌厚度与横截面积的两次测量值的 ICC 值大部分大于 0.9, 表明该测试方法的可重复性良好; 拇展肌厚度、趾短屈肌及小趾展肌的横截面积与闭眼单腿站立时间成显著性相关, 而拇展肌横截面积与其成非常显著相关; 足部内在肌横截面积越大, 闭眼单腿站立时间越久。结果说明: 采用 B 型超声波技术测量足部内在肌形态的可靠性良好; 足部内在肌的形态会影响人体静态平衡控制, 对足部核心区稳定性的作用不可忽视。

关 键 词: 运动生理学; 足部内在肌形态; 人体静态平衡; 超声波技术; 足部核心区
中图分类号: G804.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2016)02-0133-05

Measurement of foot intrinsic muscle morphology and its relationship with human body static balance stability

XU Zheng-yong¹, ZHANG Xian-yi²

(1.Department of Physical Education, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510006, China;

2.Department of Kinesiology, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven 3000, Belgium)

Abstract: In order to probe into the repeatability of measuring foot intrinsic muscle morphology by using ultrasonic technology, and to study the effects of foot intrinsic muscles on maintaining human body stability by analyzing the correlation between foot intrinsic muscle morphology and eyes closed single leg standing time, the authors repeatedly measured the longitudinal and cross-sectional images of such 4 foot intrinsic muscles as flexor digitorum brevis, flexor hallucis brevis, abductor hallucis and abductor digiti minimi of 15 healthy young testees by using type B ultrasonic technology, measured muscle thicknesses and cross-sectional areas by using image processing software ImageJ, and performed an interclass correlation coefficient (ICC) analysis on two sets of measurement data by using data processing software SPSS, so as to verify the repeatability of this test method; in the mean time, the authors also measured eyes closed single leg standing time in order to evaluate balance stability, analyzed the Pearson coefficients of correlation between eyes closed single leg standing time and the morphologies of the four foot intrinsic muscles, and probed into the effects of foot intrinsic muscle morphology on static balance ability. The authors revealed the following findings: most ICC values of two sets measurement values of foot intrinsic muscle thicknesses and cross-sectional areas measured by using ultrasonic technology were greater than 0.9, which means that the repeatability of this test method is good; the thickness of abductor hallucis and the cross-sectional areas of flexor

digitorum brevis and abductor digiti minimi were significantly correlative with eyes closed single leg standing time, while the cross-sectional area of abductor hallucis was very significant correlative with eyes closed single leg standing time; the larger the cross-sectional area of foot intrinsic muscles, the longer the eyes closed single leg standing time. The said findings indicate the followings: the reliability of measuring foot intrinsic muscle morphology by using type B ultrasonic technology is good; foot intrinsic muscle morphology will affect human body static balance control, its function on foot core area stability should not be neglected.

Key words: sports physiology; foot intrinsic muscle morphology; human body static balance; ultrasonic technology; foot core area

在运动训练领域,核心区稳定性(core stability)受到了相当广泛的关注。目前受到关注最多的是躯干核心区,即以脊椎-盆骨-髌关节为主体,包括附着在其上的肌肉韧带等^[1]。核心区的力量与稳定性训练对运动成绩提高及防止损伤都有重要意义^[2]。与躯干核心区稳定性相对应,McKeon 等^[3]在 2015 年英国运动医学期刊(British Journal of Sports Medicine)上发表的论文提出了足部核心区理论。由于足弓对于足部功能非常重要,静止站立时重力通过足弓传递到前掌,运动时足弓通过形变吸收及释放能量^[4]。因而他们认为以足弓为主体,包括控制足弓运动的足部内在肌及外在肌等共同构成足部核心区。

足部内在肌是指起源点及附着点均在足部的肌肉,主要分布在足底,而足部外在肌是指起源点在腿部,而附着点在足部的肌肉。两者共同控制足部运动,对足弓形态的维持非常重要^[5]。其中足部外在肌由于形态较大,力臂也较长,能够产生较大的力矩,对于控制足部运动起着主要作用,因而目前国内外对足部肌肉的研究主要针对足部外在肌的形态与肌电活动研究^[6-9]。而足部内在肌主要分布在足底,而且肌肉较小,测量难度较大,相关研究十分有限,运动训练与康复训练中也缺乏对足部内在肌的关注。然而足部内在肌如同躯干核心区的稳定肌群,虽然形态较小,能产生的力矩也较小,但对维持核心区平衡以及协调主要运动的完成有着重要作用。因而对足部内在肌的测量方式以及功能的研究对于提高运动能力、降低运动损伤以及促进运动康复均有重要意义。

超声波测量技术是将探头置于皮肤表面,通过对超声波的发射与接收检测人体内部组织结构。超声波测量技术是非介入性测量手段,该测试方式对身体安全,操作方式简便,并且能得到实时反馈。随着测量精度的提高,最近几年对骨骼肌肉系统进行超声波检测成为研究热点^[10-12]。然而目前骨骼肌肉系统超声波测量通常应用在较大的肌肉上,在足底内在肌等形态较小、测量难度较高的肌肉上应用非常有限。

为了探究使用超声波技术测量足部内在肌形态的

可靠性,本研究通过运用 B 型超声波技术重复测量趾短屈肌、拇短屈肌、拇展肌以及小趾展肌等 4 个足部内在肌的形态,对其测量重复性进行研究。足部内在肌功能的重要性虽然毋庸置疑,然而目前并没有查到国内外关于足部内在肌形态对平衡控制能力影响的研究,也没有对足部核心区稳定性理论的实验验证。因而本研究还对 4 个足部内在肌形态与单脚站立平衡时间进行了相关性分析,初步探索足部内在肌形态对静态平衡稳定控制的影响,对足部核心区稳定性进行初步探讨。

1 研究方法

1.1 受试者

15 名健康青年自愿参与了实验测试,其中男 7 名、女 8 名。平均年龄为(23 ± 3.3)岁,平均身高为(171.1 ± 8.7) cm,平均体重为(58.8 ± 15.8) kg。所有受试者在 6 个月内均无足部及下肢损伤,也没有与运动平衡相关的神经系统类疾病。

1.2 实验方法

1) 相关肌肉形态的测量。

采用西门子便携式 B 超测量仪,探头选用线阵探头。测量的足部内在肌包括趾短屈肌、拇短屈肌、拇展肌与小趾展肌。将线阵探头与肌肉起止方向平行放置测量其厚度,将探头垂直放置测量其横截面积。测量之前让受试者以自然速度跑步 5 min 热身。超声波测量方法以及测量位置的选择参考了 CROFTS 等^[13-15]的研究。为了检测测量的可重复性,让受试者分别在 2 d 进行超声波测量,测量操作者不变。所有 B 超测量均在右脚上进行。

(1) 趾短屈肌测量。趾短屈肌属于足部浅层肌肉,主要功能是辅助 2~5 趾跖屈。在测量趾短屈肌时,受试者俯卧在柔软长椅上,将踝关节以下的脚部悬在空中不施加任何负荷,脚部与胫骨成 90°。对于趾短屈肌,用软笔画线连接跟骨内侧结点与第 3 趾骨中点,将探头沿着这条线由跟骨向趾骨移动,直至找到趾短屈肌最厚的部位,捕捉其静态图像用于测量趾短屈肌

的厚度。将探头在该肌肉最厚的地方旋转 90°，测量其横截面积。

(2)拇短屈肌测量。拇短屈肌主要功能是辅助大拇趾跖屈。测量拇短屈肌时，受试者处于俯卧位，姿势与测量趾短屈肌一致。将线阵探头放置在第 1 跖骨头处，使其探头方向与第 1 跖骨平行，由第 1 跖骨远端向近端移动，直至找到拇短屈肌最厚的部位，捕捉其静态图像用于后续的拇短屈肌厚度测量。然后将探头在该肌肉最厚的地方 90° 旋转，以测量拇短屈肌的横截面积。

(3)小趾展肌测量。小趾展肌主要功能是辅助小趾跖屈以及外展。测量小趾展肌时，受试者处于俯卧位，姿势与测量趾短屈肌一致。将探头置于跟骨外侧结节，即小趾展肌的起源处，向第 5 跖骨粗隆移动，直至找到小趾展肌最厚的部位，通常在跟骰关节附近，捕捉静态图像用于测量小趾展肌的厚度。然后将探头旋转 90°，捕捉横截面积图像。

(4)拇展肌测量。拇展肌是足部较大的内在肌，其主要功能是外展拇指。对于拇展肌，在受试者仰卧位进行测量，脚部与胫骨成直角。为了保证测试位置的一致性，在胫骨内踝前侧画一条垂直于足底的线，将线阵探头置于该线上捕捉其横截面积图像。然后将探头旋转 90°，捕捉其厚度的静态图像。对于难以识别的肌肉，在测量时会受试者主动收缩该肌肉，记录肌肉动态图像，以辅助之后对肌肉边界的识别。

2)最长单脚站立时间的测量。

由于所有 B 超测试均在右脚上进行，因而让受试者均右腿单腿站立。为了排除鞋袜对平衡的影响，受试者测试期间不穿鞋袜。测量姿势为：右脚裸足站立，左脚抬起悬空，双手在胸前交叉，闭上双眼，让受试者尽量保持身体平衡稳定，当另一侧脚着地则结束计时。静态平衡时间测试 3 次，每次之间休息片刻直至受试者准备好下一次测试。

1.3 数据处理

在 ImageJ 图像处理软件中对 B 超测量图像进行处理，测量肌肉厚度与横截面积。对于肌肉厚度，选择最厚的部位进行测量，对于横截面积，沿着肌肉边缘画封闭曲线测量该区域的面积。对所测量数据用 SPSS 11.0 进行统计学分析，测试结果用平均值 ± 方差表示。对于测量方式的可重复性进行分析，对超声波 2 d 的肌肉形态测量数据进行组内相关系数(interclass correlation coefficients, ICC)可靠性分析。对肌肉形态与静态平衡的相关性分析，将足部内在肌厚度及横截面积与单腿闭眼站立时间进行 Pearson 相关性分析。

2 结果与讨论

表 1 为对 4 个足部内在肌的厚度与横截面积的 2 次测量数据以及组内相关系数(ICC)。结果显示两次测试的可重复性很好：除了拇短屈肌横截面积与小趾展肌横截面积的可靠性为中等(ICC>0.8)外，其余测量值的可重复性高(ICC>0.9)^[6]。

表 1 足部内在肌形态测试结果($\bar{x} \pm s$)

测试次序	趾短屈肌		拇短屈肌		拇展肌		小趾展肌	
	厚度/cm	横截面积/cm ²	厚度/cm	横截面积/cm ²	厚度/cm	横截面积/cm ²	厚度/cm	横截面积/cm ²
第 1 次	0.89±0.13	2.13±0.44	1.29±0.09	2.93±0.35	1.17±0.18	2.37±0.54	0.81±0.13	1.16±0.19
第 2 次	0.91±0.15	2.16±0.37	1.24±0.09	2.99±0.44	1.16±0.17	2.40±0.49	0.80±0.09	1.11±0.13
ICC	0.96	0.95	0.91	0.85	0.95	0.97	0.91	0.88

所有受试者单腿闭眼站立时间的平均值为(34.7 ± 17.4) s。4 个足部内在肌形态(厚度与横截面积)与单腿闭眼站立时间的 Pearson 相关系数如表 2 所示。相关性分析显示趾短屈肌横截面积、拇展肌厚度以及小趾

展肌横截面积与单腿闭眼站立时间成显著性相关，而拇展肌横截面积与单腿闭眼站立时间成非常显著相关，相关系数为 0.72，说明足部内在肌的形态与单腿平衡站立时间有一定相关性。

表 2 足部内在肌形态与单腿闭眼站立时间的相关系数

内在肌形态	Pearson 相关系数	P 值	内在肌形态	Pearson 相关系数	P 值
趾短屈肌厚度	0.37	0.235	趾短屈肌厚度	0.66 ¹⁾	0.019
趾短屈肌横截面积	0.56 ¹⁾	0.048	趾短屈肌横截面积	0.72 ²⁾	0.008
拇短屈肌厚度	0.18	0.585	拇短屈肌厚度	0.53	0.079
拇短屈肌横截面积	0.51	0.091	拇短屈肌横截面积	0.69 ¹⁾	0.013

1)P<0.05; 2)P<0.01

对于健康的肌肉,其横截面积与收缩力量成正比,因而通过测量肌肉形态能够反映其功能^[17-18]。过去测量肌肉形态通常使用 MRI 与 CT 等,不仅操作复杂、耗费比较大、对人体也有一定的潜在伤害。而便携式的 B 超则会大大降低测量成本,而且对人体无伤害,可操作性强,在肌肉系统测量方面越来越受到重视。然而在使用这一测量技术之前必须先验证其可靠性,目前国内有对 B 型超声波测量肌肉形态可靠性的研究,但所测量的肌肉为股四头肌^[19],与较小不容易识别的足部内在肌差异较大,本研究通过对足部内在肌的重复性测试显示使用 B 型超声波技术测量较小的足部内在肌可靠性良好。

由测试结果可知肌肉的横截面积的重复性比厚度的重复性稍低,这是因为肌肉横截面的边缘识别度相对较低,有时需要结合肌肉动态收缩图像进行识别。相比其他足部内在肌,拇短屈肌的横截面积的可重复性稍低,这可能与该肌肉有深浅两个头有关,对其边界的识别难度会稍微高一些。而小趾展肌的可重复性也为中等,这可能与该肌肉外面包裹的其他组织较多,肌肉位置稍微深一些,从而导致 B 超测量的精度有所降低,而且该肌肉不容易通过自主收缩测量其动态图像。运用 B 超技术测量肌肉形态时,位置越表层、结构越简单的肌肉的测量可靠性与准确度越高。但整体来说本研究所测试的 4 个足部内在肌的测量可重复性均较好。

不管是静止站立,还是完成复杂的三维运动,足部平衡能力都起着重要作用。平衡能力差容易导致踝关节扭伤,内翻过度甚至摔倒等^[20-22]。影响平衡的因素有很多,包括本体感受、支撑面积以及肌肉协调等。虽然足部外在肌较大,能够产生较大的力矩,对平衡控制有着非常重要的影响,然而对躯干核心区稳定性的研究显示:如果核心区稳定肌群比较弱小会使该区域稳定性降低,并引起躯干与下肢运动模式异常^[23],进而可能增加下肢过度运动损伤风险^[24-25]。足部内在肌与躯干核心区稳定肌群类似,虽然形态较小,力臂也较短,对于它们所跨越的关节不能产生较大力矩,但对于维持稳定性却非常重要,能够协调与辅助主要运动的完成。

闭眼单腿站立是难度较高的平衡测试,能够反映人体的平衡控制能力,被广泛应用于评价平衡能力^[26]。本研究对足部内在肌大小与闭眼单腿站立时间的相关性分析,实验结果表明趾短屈肌、拇展肌及小趾展肌等足部内在肌的大小与单腿站立时间在统计学意义上显著性相关,这说明足部内在肌对平衡的控制有一定影响,因而对平衡能力的训练不应只看足部外在肌,

还应关注足部内在肌。其中拇展肌的横截面积与单腿站立时间呈非常显著相关,相关系数为 0.72,说明该肌肉的大小对于足部平衡影响较大,可以在一定程度上通过对该肌肉形态的测量评价足部平衡功能。Kelly 等^[27]采用针电极肌电对足部内在肌在双腿站立与单腿站立时的肌电活动进行了研究,结果显示单腿站立时拇展肌、趾短屈肌与跖方肌的肌电水平显著高于双腿站立时的肌电水平,说明这些肌肉参与足部平衡的控制。然而这种介入式测量实施起来相对困难,也可能对受试者产生一定伤害,不适于广泛应用。本研究的实验结果也显示拇展肌与趾短屈肌的大小与单腿静态平衡有显著相关性,与 Kelly 等的研究结论一致,而且超声波为非介入性测量技术,对人体无伤害,更适宜做为有效简便的足部内在肌测量手段。

研究显示日益增多的足部病变也均与足部内在肌肉力量密切相关,例如平足、拇指外翻、跟腱炎、踝关节扭伤等^[28]。为了改善足部平衡能力,很多人采用鞋或鞋垫矫形器等外部支撑进行改善治疗,而忽略了锻炼内在肌使其发挥本来的功能,这种方式治标不治本,而且足部结构由于长期受到外部支撑可能会使足部内在肌更加弱小,从而产生恶性循环。通过训练足部内在肌可能对于增强足部功能以及降低运动损伤更有利。

参考文献:

- [1] KIBLER W B, PRESS J, SCIASCIA A. The role of core stability in athletic function[J]. Sports Med, 2006, 36(3): 189-198.
- [2] HUXEL BLIVEN K C, ANDERSON B E. Core stability training for injury prevention[J]. Sports Health, 2013, 5(6): 514-522.
- [3] PATRICK O M, JAY H, DENNIS B. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function[J]. Br J Sports Med, 2015, 49(5): 290.
- [4] KER R, BENNETT M, BIBBY S R, et al. The spring in the arch of the human foot[J]. Nature, 1987, 325(8): 147-149.
- [5] HEADLEE D L, LEONARD J L, HART J M. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2008, 18(3): 420-425.
- [6] RUIZ-MUNOZ M, CUESTA-VARGAS A I. Electromyography and sonomyography analysis of the tibialis anterior: a cross sectional study[J]. J Foot Ankle Res, 2014, 7(1): 11.

- [7] MIKA A, OLEKSY L, MIKA P. The influence of heel height on lower extremity kinematics and leg muscle activity during gait in young and middle-aged women[J]. *Gait Posture*, 2012, 35(4): 677-680.
- [8] 井兰香, 刘宇. 不同高度跳深动力学及下肢肌肉预激活调节[J]. *体育科学*, 2012, 32(11): 64-69.
- [9] 钟运健, 刘宇, 裘艺, 等. 快速跑完整步态中下肢肌肉的应力变化及肌肉功能探讨[J]. *体育科学*, 2010, 30(10): 30-35.
- [10] HARMON K G, O'CONNOR F G. Musculoskeletal ultrasound: taking sports medicine to the next level[J]. *Br J Sports Med*, 2010, 44(16): 1135-1136.
- [11] 陈及治, 陆爱云, 陈佩杰, 等. 男青少年部分下肢肌肉肌腱形态和运动能力的相关研究[J]. *上海体育学院学报*, 2001, 25(1): 32-35.
- [12] 李玉章, 吴璘. 运用超声波技术对人体肌腱复合体特征的研究进展[J]. *上海体育学院学报*, 2010, 34(2): 43-48, 61.
- [13] CROFTS G, ANGIN S, MICKLE K J. Reliability of ultrasound for measurement of selected foot structures[J]. *Gait Posture*, 2014, 39(1): 35-39.
- [14] ANGIN S, CROFTS G, MICKLE K J. Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes planus[J]. *Gait Posture*, 2014, 40(1): 48-52.
- [15] CAMERON A F, ROME K, HING W A. Ultrasound evaluation of the abductor hallucis muscle: Reliability study[J]. *J Foot Ankle Res*, 2008, 1(1): 12.
- [16] VINCENT W J. *Statistics in Kinesiology*. 2nd edition[M]. Northbridge, USA, 1999.
- [17] MAUGHAN R J, WATSON J S, WEIR J. Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects[J]. *Br J Sports Med*, 1984, 18(3): 149-157.
- [18] KENT-BRAUN J A, NG A V. Specific strength and voluntary muscle activation in young and elderly women and men[J]. *J Appl Physiol* (1985), 1999, 87(1): 22-29.
- [19] 范宏娟, 王新北, 史进军, 等. 超声对股四头肌用力收缩前后形态测量的初步研究[J]. *中国康复理论与实践*, 2011(3): 271-273.
- [20] HSU W L, CHEN C Y, TSAUO J Y, et al. Balance control in elderly people with osteoporosis[J]. *J Formos Med Assoc*, 2014, 113(6): 334-339.
- [21] DE RIDDER R, WILLEMS T, VANRENTERGHEM J. Gait kinematics of subjects with ankle instability using a multisegmented foot model[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(11): 2129-2136.
- [22] CHEUNG R T, NG G. Y. Motion control shoe delays fatigue of shank muscles in runners with overpronating feet[J]. *Am J Sports Med*, 2010, 38(3): 486-491.
- [23] LEETUN D T, IRELAND M L, WILLSON J D. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(6): 926-934.
- [24] FERBER R, NOEHREN B, HAMILL J. Competitive female runners with a history of iliotibial band syndrome demonstrate atypical hip and knee kinematics[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2010, 40(2): 52-58.
- [25] NOEHREN B, HAMILL J, DAVIS I. Prospective evidence for a hip etiology in patellofemoral pain[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(6): 1120-1124.
- [26] BALOGUN J A, AJAYI L O, ALAWALE F. Determinants of single limb stance balance performance[J]. *Afr J Med Med Sci*, 1997, 26(3-4): 153-157.
- [27] KELLY L A, KUITUNEN S, RACINAIS S. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2012, 27(1): 46-51.
- [28] BORDELON R L. Hypermobility flatfoot in children. Comprehension, evaluation, and treatment[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1983(181): 7-14.

