doi:10.11659/jjssx.02E016058

负重徒步致足部水疱的发病机制研究

陈 聪[1],周维均[2],刘明华[1],曾凡杰[1],田 铸[1],郭国宁[1] (1.第三军医大学西南医院急救部,重庆 400038;2.解放军 77113 部队卫生队,四川 彭州 618419)

[摘 要] **目的** 分析远距离负重徒步过程中产生足部水疱的相关因素,探讨足部水疱的发病机制,为足部水疱的防治提供参考。**方法** 300 km 负重徒步结束后,统计完成全程徒步人数;记录足部水疱发生的数量、部位及其鞋底磨损情况;发放调查问卷,获悉一般情况,包括性别、年龄、体重指数、是否左利手、徒步前是否存在足部水疱等,采用 SPSS 13.0 进行统计学分析。**结果** 排除未能完成全程徒步者(7 人)及在徒步前已出现足部水疱者(17 人),剩余 590 人纳入本研究,有 554 人出现足部水疱(发病率 93.9%),共计有 1 282 个水疱,其中 1 257 个发生在足底(占 98%)。性别、左右足、左右利手、体重指数、年龄与足部水疱间无显著相关性。足部水疱好发部位依次为:左足,第 2、3 跖骨头区(28.2%)、拇趾区(21.3%)、第 5 足趾区(18.1%)、跟骨区(15.8%);右足,第 2、3 跖骨头区(33.3%)、拇趾区(22.4%)、第 5 足趾区(18.6%)、跟骨区(14.5%)。鞋底共 1 312 处出现磨损,磨损率最高的部位为左鞋底,足跟外侧区(34.6%);右鞋底,足跟外侧区(34.2%)。**结论** 性别、左右足、左右利手、年龄、体重指数与足部水疱无显著相关性,这可能与本徒步过程的特殊性有关。足部水疱几乎都发生在足底,且其好发部位与鞋底磨损部位及足底剪切力强度分布基本拟合,验证了剪切力是足部水疱发病机制中最为关键的因素。

[关键词] 足部水疱;剪切力;徒步;相关因素;发病率

[中图分类号] R632 [文献标识码] A [收稿日期] 2016-02-13

Pathogenesis of foot blisters caused by weight-bearing march

CHEN Cong[1], ZHOU Wei-jun[2], LIU Ming-hua[1], ZENG Fan-jie[1], TIAN Zhu[1], GUO Guo-ning[1] (1. Emergency Department, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China; 2. Medical Corp, Troops 77113 PLA, Pengzhou Sichuan 618419, China)

Abstract: Objective To analyze the related factors of foot blisters caused by long-distance weight-bearing march and to explore the pathogenesis of foot blisters to provide a useful way for the prevention and treatment. **Methods** After the 300 km march, counted the number who had accomplished the march, and then recorded the number of foot blisters, location of blisters, and abrasion of sole. Collected the data of gender, age, body mass index (BMI), hand dominance, and whether had bliters before the march through questionnaire. And the data were coded for analysis with SPSS 13.0 statistical package. **Results** The 7 cases who complete the whole march and 17 cases who already had foot blisters before the march were ruled out of the final statistics. Among the remaining 590 cases, there were 554 cases (93.9%) suffered from foot blisters. And there were 1 282 blisters in total, among which the plantar blisters occupied 98% (1 257 cases). The analysis showed that the incidence of foot blisters had no significant correlation with gender, left/right foot, hand dominance, BMI and age. The predilection sites of blisters were the second and third metatarsals (28.2%), the hallux (21.3%), the fifth metatarsal (18.1%), and the calcaneus (15.8%) of the left foot. The predilection sites of blisters were the second and third metatarsals (33.3%), the hallux (22.4%), the fifth metatarsal (18.6%), and the calcaneus (14.5%) of the right foot. In terms of the abrasion of sole, the lateral heel was worn out the most (34.6% on the left and 34.2% on the right). **Conclusion** The study confirmed that the incidence of foot blisters had no significant correlation with gender, left/right foot, hand dominance, BMI and age, which may be affected by the particularity of this march. Most of the foot blisters occurred in the planta, and the predilection sites of blisters were in accord with sites of of the abrasion of sole and the distribution of plantar shear force, which demonstrated the shear force is the most critical factor on the pathogenesis of foot blisters.

Keywords: foot blisters; shear force; march; related factors; incidence

在远距离徒步、长跑运动以及一些相关耐力训练中,可出现一系列急性运动性损伤,其中足部水疱最为常见。通常,足部水疱并未受到重视,休息一段时间后绝大多数可自愈。但是,足部水疱可导致明显不适感,使活动受限,影响整体战斗力,个别患者可出现水疱区

[通信作者] 郭国宁,E-mail:gotoguoguo@126.com

域感染、炎症反应,如控制不佳,局部的炎症反应可以向深部扩散,损害到深部组织,如肌肉、肌腱、骨膜,更有甚者发展为蜂窝织炎或脓毒症[1],因此,对足部水疱不可忽视。但是,一直以来,国内对足部运动性水疱的研究报道较少。为进一步阐明运动性足部水疱的发病机制,我们对某高校近期组织的一次野外 300 km 负重徒步进行研究。现报告如下。

1 对象与方法

1.1 对象

某高校近期参加野外 300 km 负重徒步的新生人数共计 614 名。排除未能完成全程徒步者(7 人)及在徒步前已出现足部水疱者(17 人),剩余 590 人纳入本研究。

1.2 方法

参训人员统一穿戴新配发棉袜、运动鞋,均负重 10 kg,徒步历时 12 d。途经山区、水域,天气变化多样,有晴天、阴天、雨天、多云等气候,徒步时气温波动于 26 ~ 37 ℃,平均(31.2 ± 5.8)℃,相对湿度波动于 60% ~ 100%,平均(92.2 ± 7.2)%,无持续风向。全程有医务人员跟随保障。徒步结束后收集以下资料:①统计完成全程徒步人数;②记录足部水疱发生的数量、部位及其鞋底磨损情况;③向完成全程徒步人员发放调查问卷,获悉一般情况,包括性别、年龄、体重指数、是否左利手、徒步前是否存在足部水疱等。

1.3 统计分析

采用 SPSS 13.0 统计软件进行统计学分析。计量资料用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)形式表示,计数资料用百分率(%)形式表示,对计量资料用 t 检验,对计数资料用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

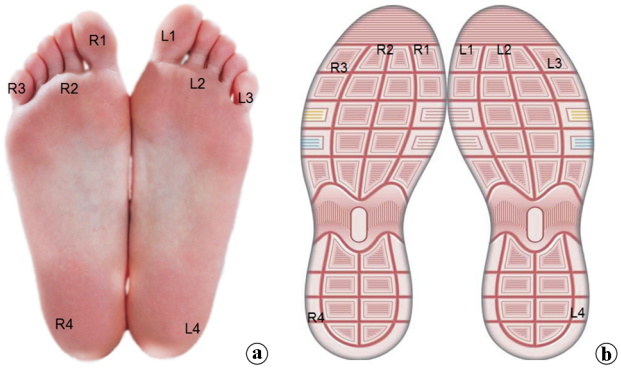
在 614 人中有 24 人被排除,其中 7 人未能完成全程徒步,17 人在徒步前即存在足部水疱,剩余 590 人纳入本研究(表 1)。554 人出现足部水疱(发生率 93.9%),共计有 1 282 个水疱,其中 1 257 个(98%)发生在足底,好发部位(编码定位见图 1a)依次为:左足,L2(28.2%)、L1(21.3%)、L3(18.1%)、L4(15.8%);右足,R2(33.3%)、R1(22.4%)、R3(18.6%)、R4(14.5%)。鞋底共 1 312 处出现磨损,磨损率最高的部位(编码定位见图 1b)依次为:左鞋底,L4(34.6%)、L2(29.2%)、L1(11.5%)、L3(9.8%);右鞋底,R4(34.2%)、R2(30.2%)、R1(10.5%)、R3(8.7%)。左利手发生水疱在左右足比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),右利手发生水疱在左右足比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)(表 2)。

表 1 水疱组与非水疱组间比较

组别	性别(例)		部位(例)		体重指数	年龄
	男	女	左足	右足	(kg/m²)	(岁)
水疱组	481	73	542	549	22.6 ~ 25.8	18 ~ 22
非水疱组	31	5	0	0	22.2 ~ 25.6	18 ~ 22
P	1		0.44		0.685	0.721

表 2 左右足水疱发生率与左右利手相关性比较(个)

变量	左足水疱	右足水疱
左利手	29	22
右利手	603	628



a:足底定位编码;b:鞋底定位编码

图 1 足底好发部位和鞋底磨损率最高编码定位

3 讨论

目前,国内对足部运动性水疱的报道极少,少数相关报道认为,足底水疱与多种因素有关,并在压力的作用下发病[2]。但是不难发现,有不少足底长时间承受着较大压力的人员,如卫兵,却较少出现足底水疱;且在行军中,通过干预单纯减少足底压力,并不能有效降低足底水疱发病率;再者,足部水疱并非仅仅发生于足底,在足背、足侧亦有出现。因此,足部水疱形成过程中,生物力的作用方式仍有待进一步研究。国外对足部运动性水疱研究认为,相比压力而言,更应重视生物力-剪切力在运动性足部水疱中的作用[3]。但国外相关研究也多基于室内模拟水平,对实际临床的研究也多限于同日、同种气候、同种场地内。本次徒步过程,时间跨度大、路途遥远、气候复杂多变,参加人员在负重状态下,持续徒步、跋山涉水,因此本次研究对复杂

条件下,足部运动性水疱的形成、评估、防治有重要的参考价值。

剪切力是指左右方向垂直于冠状面的力与前后方向垂直于矢状面的力,剪切力施加于相邻物体的表面时,引起相反方向的进行性平滑动的力量,作用于深层时,引起组织的相对位移[4]。剪切力的形成与摩擦力有直接关系,而摩擦力则受压力与摩擦系数的影响[3,5]。

在本次研究中,水疱组和非水疱组性别、左右足、左右利手、体重指数、年龄等比较均无统计学差异,与既往研究有所不符[6]。原因主要有:①女性足部运动性水疱的发病率可能会比男性高,因为女性足部皮肤较男性更为薄弱,对剪切力、摩擦力、压力等生物力的耐受作用较差;②理论上,主要受力足运动性水疱的发生率应较非主要受力足高,一般而言,右利手者会把右足作为主要受力足,左利手者则会把左足作为主要受力足,而受力足所受到的摩擦力与剪切力都会远大于非受力足;③年龄增长是足部运动性水疱的危险因素[7]。年龄与足部皮肤的结构功能状态、细胞增殖修复能力密切相关,可影响足部水疱的发生发展,随着年龄增大,足底脂肪垫萎缩,结构逐渐疏松,抗摩擦作用减弱,足部水疱发病率增高[8];④肥胖者足底与接触面的接触面积、足底各区域所受的压力与冲量均较非肥胖者大,那么足底所受的摩擦力与剪切力应比非肥胖者明显增高,故肥胖或体重指数超标有可能是足底运动性水疱的危险因素[9]。然而本研结果并未体现出性别、左右足、左右利手、年龄、体重指数与足部水疱的显著相关性,这可能与本徒步过程的特殊性有关。既往的研究,外界影响因素相对单一,时间相对较短,足部所受到的剪切力强度较弱、频次较低。男性足部皮肤较女性厚实,剪切力对足部的影响尚在代偿范围内;主要受力足对剪切力还处于可耐受状态,而无需对侧足来承受主要生物力;体重轻者,足底负荷相应就小,摩擦系数低,摩擦力与剪切力强度也小,足底对剪切力的耐受时间相对于肥胖者要长,在一定时间范围内,足底可耐受一定强度的剪切力,因此,性别、左右足、左右利手、体重指数可表现出统计学差异。而本次徒步路途遥远,耗时长,剪切力强度大,频次高,所以,即便男性足部皮肤再厚实,也抵挡不住长时间剪切力的反复作用;一旦主要受力足难以耐受剪切力的损害,机体便会做出保护性改变,将对侧足作为主要受力足,久而久之,原来的非受力足也因此受到剪切力的损害,继而形成水疱。无论肥胖与否,在此种条件下,足底对剪切力的损害都远远超出承受范围,水疱也将难以避免。故在本研究中,无论男女、胖瘦、左右足、左右利手,与足部水疱的发生都无明显相关性。张勤良等[10]报道,随着年龄的变化,足的结构也在不断变化,因此足底压力分布也会随之变化。而本次徒步人员的年龄本就差异不大,都属于同龄范畴,故统计的无差异性只能说明该群体在年龄这一属性上的同质性,而无法说明年龄对于足部水疱发病是否有相关性。

在本研究中,足部水疱的发病率远远高于以往的研究报道[11-12]。Knapiks 等[11]的研究则表明,180 名步兵负重46 kg,徒步 20 km 后,124 名战士出现足部水疱,发病率为68.9%;Adams 等[12]的研究显示,马拉松长跑运动员足部水疱的发生率为 0.2% ~39%;而本研究中,徒步人员的负重为 10 kg,徒步距离为 300 km,水疱发生率高达 93.9%。基于各项研究所处的客观条件,如气温、湿度、路面情况、行军距离、时间跨度等都不一样,暂难以说明负荷程度是否与足部水疱发病率有确切关系。同时,先前的各项研究,徒步距离短,且均为单日内完成,其行军距离与时间跨度都远不及本次研究,故我们考虑,行军距离与时间跨度可能是足部水疱发生的最为密切的相关因素。

从足部水疱的发病位置看,绝大多数水疱发生在足底,好发部位为 2、3 跖骨头区、拇趾区、第 5 足趾、足跟区,这与既往研究大致相符,但在好发部位的排序上略有差异[13-14]。Warren 等[13]认为,足部水疱主要发生在足趾、足跟底、足跟后侧;Sian 等[14]则认为,足部水疱最常见于足趾(尤其是趾间区及第 5 足趾外侧部)、足跟部,随后才是第 2 跖骨头区域。在本研究中,发病率最高的区域为第 2、3 跖骨区域、拇趾区域,总共占约 50%,随后为第 5 足趾区、足跟区,左右足相似。这些排序上的差异,依然还是由于受到不同自身条件与外在条件的影响所致。但至少,在与本研究相类似的条件下,如远距离甚至超远距离负重、时间跨度极大、途径复杂的气候条件及地理地势条件等,本研究的结果可以作为参考,对足部水疱的发生状况做一预判,有助于提前干预。

本研究中,足部水疱的分布状况、鞋底的磨损情况与足部剪切力分布强度三者间也基本拟合。从鞋底磨损的情况可以看出,鞋底所受到的摩擦力主要沿外侧

缘分布,而磨损最严重、磨损率最高的几个部位(L4/R4、L2/R2、L1/R1、L3/R3),刚好相对于足底的:足跟区、中间部跖骨头区(即第2、3跖骨头区)、拇趾与第1跖骨头区、第5足趾与第5跖骨头区。通过力的传导与相互作用,导致足底的相应部位受到较大的剪切力,这与Kärki等[15]的研究一致。其所测量的足部剪切力的大小依次为:中间部的跖骨头区域(49.8±3.7)kPa、足跟部区域(48.6±9.9)kPa、外侧部跖骨头区域(43.7±2.0)kPa、拇趾区域(33.0±1.8)kPa。然后,在剪切力的持续作用下,相应部位极易形成水疱。本研究中,足部水疱好发部位分布情况(依次为第2、3跖骨头区、拇趾区、第5足趾区、跟骨区)充分证明了这一点。尽管鞋底磨损部位、足底剪切力及足底水疱部位三者间并非严格一一对应,因为其中尚存在另一重要因素-水化作用的影响[7],但如此的一致性足以说明,随着摩擦力的传导,足底皮肤与鞋面间的相互作用,导致足底剪切力的形成,继而对足底皮肤造成持续性损害,最终形成水疱。

总之,在本次远距离负重徒步中,足部水疱呈现了高发病率态势(93.9%),可显著影响整个徒步的进程,同时还会对日后的生活造成干扰,对此不容轻视。所以,通过了解足部水疱的影响因素及发病机制,并据此积极进行防治性干预,减少足部水疱的发生发展,减轻足部水疱的危害,显得尤为重要。本研究证明,足部水疱的形成过程,剪切力是最为关键因素,故在防治措施上可以在减小摩擦力、剪切力方面下功夫,如:润滑剂的应用、袜子材料的选择、鞋的形状设计、在鞋底摩擦较为严重的部位进行改良加强等,但是这些手段、措施的可行性与效用性究竟如何,尚待进一步研究。

[参考文献]

[1] Akers WA, Sulzberger MB. The friction blister[J]. Mil Med, 1972, 137(1):1-7.

[2] 段同华,何 彬,蒋振萱,等. 军校学员拉练中容易出现的问题及防护[J]. 临床合理用药,2013,6(2):121. doi:10.3969/j.issn.1674-3296.2013.02.102.

[3] Yavuz M, Ocak H, Hetherington VJ, et al. Prediction of plantar shear stress distribution by artificial intelligence methods[J]. J Biomech Eng, 2009, 131(9):1007-1012. doi:10.1115/1.3130453.

[4] 高军艳,李树屏. 糖尿病患者足底压力研究进展[J]. 中国康复医学志,2009,24(9):861-864. doi:10.3969/j.issn.1001-1242.2009.09.037.

[5] Yavuz M, Botek G, Davis BL. Plantar shear stress distributions: comparing actual and predicted frictional forces at the foot-ground interface[J]. J Biomech, 2007, 40(13):3045-3049.

[6] Van Tiggelen D, Wickes S, Coorevits P, et al. Sock systems to prevent foot blisters and the impact on overuse injuries of the knee joint[J]. Mil Med, 2009, 174(2):183-189.

[7] Kirkham S, Lam S, Nester C, et al. The effect of hydration on the risk of friction blister formation on the heel of the foot[J]. Skin Res Technol, 2014, 20(2):246-253. doi:10.1111/srt.12136.

[8] Angelova-Fischer I, Becker V, Fischer TW, et al. Tandem repeated irritation in aged skin induces distinct barrier perturbation and cytokine profile in vivo[J]. Br J Dermatol, 2012, 167(4):787-793. doi:10.1111/j.1365-2133.2012.11049.x.

[9] 李艳霞,刘 颖,韩 涛,等. 肥胖青年平地自然行走时足底压力分析与步态特征[J]. 中国组织工程研究与临床康复,2008,12(15):2870-2874. doi:10.3321/j.issn:1673-8225.2008.15.017.

[10] 张勤良,周 旭,倪朝民. 正常人足底压力分布影响因素及研究现状[J]. 中国康复,2011,26(6):443-445. doi:10.3870/zgkf.2011.06.022.

[11] Knapik J, Reynolds K, Staab J, et al. Injuries associated with strenuous road marching[J]. Mil Med, 1992, 157(2):64-67.

[12] Mailler EA, Adams BB. The wear and tear of 26.2: dermatological injuries reported on marathon day[J]. Br J Sports Med, 2004, 38(4):498-501.

[13] Warren R, Heymann MD. Dermatologic problems of the endurance athlete[J]. J Am Acad Dermatol, 2005, 52(2):345-346. doi:10.1016/j.jaad.2004.10.869.

[14] Sian-Wei Tan S, Kok SK, Lim JK. Efficacy of a new blister prevention plaster under tropical conditions[J]. Wilderness Environ Med, 2008, 19(2):77-81. doi:10.1580/07-WEME-OR-1243.1.

[15] Kärki S, Lekkala J, Kuokkanen H, et al. Development of a piezoelectric polymer film sensor for plantar normal and shear stress measurements[J]. Sensors and Actuators A, 2009, 154(1):57-64. doi:10.1016/j.sna.2009.07.010.

(编辑:左艳芳)