

# 跖筋膜炎患者的足底生物力学特征分析

戴长安<sup>1</sup> 殷继超<sup>2△</sup> 胡兴律<sup>2</sup> 吴国昊<sup>1</sup> 雷程翔<sup>1</sup> 王军<sup>1</sup> 刘平博<sup>2</sup> 赵庭瑞<sup>3</sup>

**[摘要]** 目的:对比跖筋膜炎患者与健康者足底压力相关指标,分析跖筋膜炎患者的足底生物力学特征。方法:收集 60 例符合纳入标准的跖筋膜炎患者为患者组,60 例足部健康受试者为健康组,测量并对比分析两组受试者的足底压力相关指标。结果:患者组后足接触面积较健康组小( $P<0.05$ ),且差异凸显于后足内侧(HM);患者组第 3,4 跖骨的冲量及平均压力较健康组大( $P<0.05$ );患者组足 1~5 趾峰值压强小于健康组( $P<0.05$ )。结论:跖筋膜炎患者的足底生物力学特征表现为疼痛最为明显的后足内侧部位的接触面积变小,足底压力更偏向于前足及足外侧。由于后足局部的疼痛,迫使患者踮脚用前足行走,并以足的前外侧部分承重,因此跖筋膜炎患者行走时足部特征表现为轻度跖屈及内翻。对患者足底压力分析可以反映足底筋膜炎患者的疼痛状态。

**[关键词]** 跖筋膜炎;足底压力;生物力学;疼痛

**[中图分类号]** R686.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2020)06-0021-05

## Biomechanical Characteristics of Plantar in Patients with Plantar Fasciitis

DAI Changan<sup>1</sup> YIN Jichao<sup>2△</sup> HU Xinglu<sup>2</sup> WU Guohao<sup>1</sup> LEI Chengxiang<sup>1</sup> WANG Jun<sup>1</sup>  
LIU Pingbo<sup>2</sup> ZHAO Tingrui<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, Shaanxi China;

<sup>2</sup>Xi'an Traditional Chinese Medicine Hospital, Xi'an 710021, China;

<sup>3</sup>Department of Orthopaedics, the Third People's Hospital of Luoyang, Luoyang 471002, Henan China.

**Abstract Objective:** To study the biomechanical characteristics of plantar in patients with plantar fasciitis by comparing and analyzing the related indexes of plantar pressure between them and healthy group. **Methods:** 60 patients with plantar fasciitis who met the inclusion criteria were selected as the patient group, and 60 healthy subjects were selected as the healthy group. The relevant indexes of plantar pressure were measured and compared between the two groups. **Results:** The contact area of hind foot of patients was smaller than that of healthy people ( $P<0.05$ ), and the difference was prominent in the medial hind foot. The impulse and average pressure of the third and fourth metatarsal bones of patients were larger than those of healthy people ( $P<0.05$ ). The peak pressure and maximum pressure of the patients' soles were not significantly different from those of normal people ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** The plantar biomechanical characteristics of the patients with plantar fasciitis heel pain show that the medial contact area of the posterior foot is smaller in the medial part of the posterior foot, and the plantar pressure is more inclined to the anterior foot and the lateral part of the foot. Because of the pain on the medial side of the hind foot, the patient is forced to walk on tiptoe with the forefoot and bear the weight on the anterolateral part of the foot, the foot of the patient with plantar fasciitis is characterized by slight plantar flexion and

varus. The analysis of plantar pressure can well reflect the pain state of patients with plantar fasciitis, which is very consistent with the previous clinical observation.

**Keywords:** plantar fasciitis; plantar pressure; biomechanics; pain

基金项目:陕西科技厅社会发展项目(2018SF-271);

陕西省中药管理局项目 2017(LCMS060);

西安市中医药管理局科研项目(018-01)

<sup>1</sup> 陕西中医药大学(陕西 咸阳, 712046)

<sup>2</sup> 西安市中医医院

<sup>3</sup> 洛阳市第三人民医院骨科

△通信作者 E-mail: 444604786@qq.com

据统计目前全世界约有 8% 的人被跖筋膜炎所困扰<sup>[1-2]</sup>。通过长期临床观察发现,跖筋膜炎患者足底压

痛为足跟中心点偏内前方<sup>[3]</sup>,查体时常可触及结节,按压结节时疼痛性质与行走时相同甚至更剧烈。伴随着疼痛行走时,患者步态及足底压力必然发生改变,因此,本研究期望通过足底压力分析,观察跖筋膜炎患者的足底生物力学特征。足底压力分析技术是应用力学原理和方法,通过电子感受器测量足底与地面产生的相互作用力,以定量研究生理或病理状态下足底的压力状态。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

2018年3月至10月就诊于西安市中医医院骨伤科的60例跖筋膜炎患者和60例足部健康者。

### 1.2 诊断标准

参照2014版美国物理治疗协会骨科分会跖筋膜炎临床实践指南<sup>[4]</sup>及《中医骨伤科学》诊断标准<sup>[5]</sup>,自拟诊断标准。症状:1)晨起或休息后第一脚踩地足跟部疼痛;2)忍痛行走后症状逐渐减轻;3)久行后症状加重。体征:1)足跟部肿胀;2)小腿后侧肌群较对侧紧张或松弛。辅助检查:超声检查见足底筋膜增厚超过4 mm,足底筋膜弹性降低(弹性模量降低)<sup>[6]</sup>。

### 1.3 纳入标准

患者:1)符合以上症状2条,或伴有体征及辅助检查其中1条即确定诊断为跖筋膜炎;2)既往未接受过

手术治疗;3)了解并认可本研究,积极主动参与所有检测。患者须满足纳入标准中的所有条款才能被纳入研究范围。

健康者:1)能独立并自如行走;2)无多趾、缺趾、跖外翻等非正常足;3)足部无疼痛;4)足部无受伤史及手术史。

### 1.4 排除标准

1)患有其他足部相关疾病以及全身性疾病;2)扁平足、高弓足患者;3)检测过程中因个人原因要求临时退出及失访者;4)精神障碍者。患者若满足以上选项中任意一条,即被排除在研究范围之外。

### 1.5 方法

#### 1.5.1 检测工具

足底压力测量系统:该系统是由德国Novel公司生产的Pedar-x足底压力鞋垫式测量系统,具有单位密度较高的99个传感器,每只鞋垫厚度为2 mm,采样频率为100 Hz,通过电缆线与控制盒相连,控制盒执行读取、记录、发送、同步输出等功能。Pedar系统软件的标准功能包括实时动态显示、连续逐帧回放、中心压力检测、接触面积计算、二维轮廓显示、三维压力显示、峰值压力描绘、压力和时间积分值计算、图形分析等,此外该系统可对足底进行常用的三分区、十分区甚至根据需求可进行特殊分区,以达到更精确的分析,见图1-5。

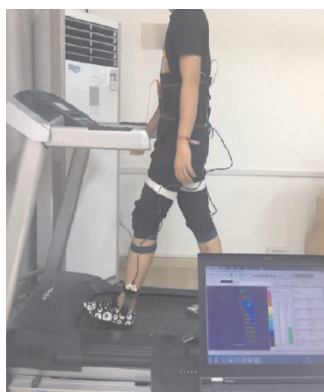


图1 穿戴设备整体图

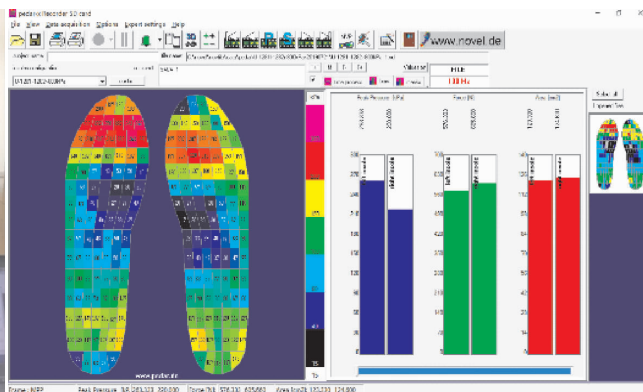


图2 足底压力采集界面



图3 鞋垫式感受器与连接器

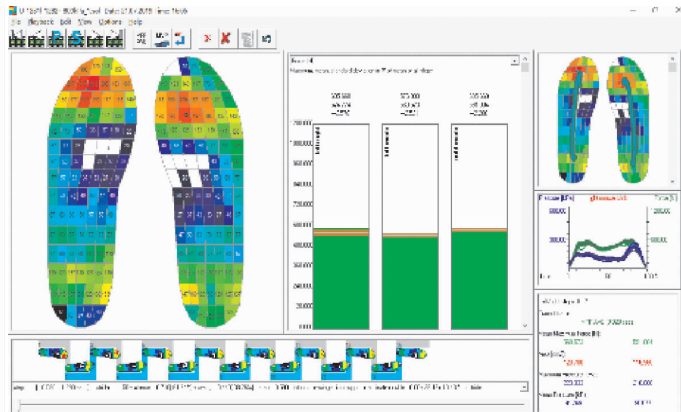


图4 足底压力分析界面

**1.5.2 检测方法** 正式测试之前,要求受试者穿戴设备并进行几次练习以确保适应实验环境并如常行走。保证符合要求后开始测试,每次选取受试者 30 步的数据,共行走 3 次,最后选取 3 次行走的平均值作为该受试者的测试数据。

**1.5.3 检测指标** 1)足底接触面积是行走过程中足底与地面接触的最大面积(单位为  $\text{cm}^2$ )。2)足底平均压力是足底接触地面到离开过程中,足底压力从开始的零到最大,再从最大到零这个过程的平均值(单位为  $\text{N}$ )。3)足底冲量是作用于足底单位面积内的压力通过压力-时间积分计算所得值(单位为  $\text{N} \cdot \text{s}$ )。4)足底峰值压强是将足底力的测量值除以受激发的传感器的面积,即为相应解剖部位的压强值(单位为  $\text{kPa}$ ),而峰值压强

则为该区域内压强的最大值。5)足底最大压力从物理学的角度讲,足底压力为足底接触地面时足底受到的地面反作用力的垂直分力和剪切分力(单位为  $\text{N}$ ),而最大压力则为足底在行走过程中受到的最大压力。

**1.5.4 足底分区** 1)足底三分区:将第二与第三跖骨间与足后跟中间连线作为足轴,再画与足轴垂直的线,将足底除去五个脚趾后分为三个部分(A,B 和 C),见图 5。

2)足底十分区:Toe1 表示第 1 足趾区域,Toe2~5 表示第 2~5 足趾区域,Metal~5 分别表示第 1~5 跖骨区域,Midfoot(MF)表示中足区域,HeelMedial(HM)表示后足内侧区域,HeelLateral(HL)表示后足外侧区域,见图 5。

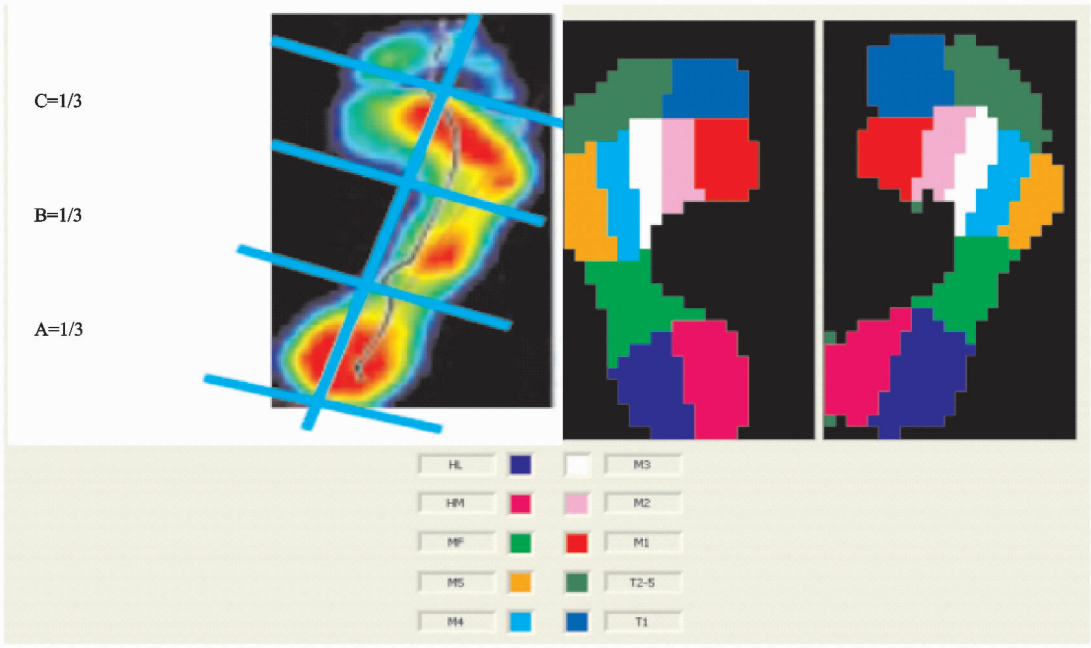


图 5 足底分区(左侧为足底三分区,右侧为十分区)

1.6 统计学方法

采用 SPSS22.0 统计学软件进行统计分析,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,正常人组及跖筋膜炎患者组比较使用独立样本  $t$  检验,两组计数资料采用  $\chi^2$  检验。两组检验所得结果,  $P < 0.05$  差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

纳入研究的健康者共 60 例,男 34 例,女 26 例;年龄 22~69 岁。纳入研究的患者共 60 例,男 31 例,女 29 例;年龄 30~77 岁;病程 3~120 个月。如表 1 所示,患者组平均身高低于健康组,且差异有统计学意义;患者组 BMI 高于健康组,且差异有统计学意义。

表 1 两组受试者一般资料( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数(男/女)	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	BMI/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )
健康组	60(34/26)	41.5±15.1	170.5±7.4	67.7±12.8	23.2±3.2
患者组	60(31/29)	47.3±10.6	166.3±8.4	68.5±11	24.7±2.7
统计检验值	$\chi^2=0.302$	$t=1.896$	$t=2.342$	$t=0.312$	$t=2.402$
P	0.583	0.065	0.021	0.756	0.018

足踝外科常以足底三分区的方式进行讨论分析,可以较为简单清楚地说明足的问题,故本研究以足底三分区的方式进行对比分析。

2.2 两组受试者足底生物力学三分区比较

如表 2 所示,患者组后足接触面积较健康组小,且差异有统计学意义;患者组与健康组的足底最大压力、

足底峰值压强、足底冲量差异无统计学意义。

经足底生物力学三分区对比后发现,患者组后足接触面积较健康组小,且差异有统计学意义,这与跖筋膜疼痛部位及临床观察结果相同,但根据临床观察,跖筋膜炎患者所表现的跛行步态理论上会引起前足或者足底外侧部分的足底生物力学变化,但足底三分区未展示出,故将足底划分为十区域后分析,期望可以更加凸显后足的差异,并发现其他分区的差异。

表 2 两组受试者足底生物力学三分区比较(±s)

分区	分组	峰值压强/kPa	最大压力/N	平均压力/N	冲量/(N·s)	接触面积/cm <sup>2</sup>
前足	健康组	1 360.4±327.9	614.8±145.2	266.7±76.3	176.9±63.9	58.5±10.7
	患者组	1 294.9±328.1	617.4±152.6	291.5±103.3	196.7±66.2	57.3±8.2
	<i>t</i>	1.141	0.096	1.598	1.730	0.650
	<i>P</i>	0.256	0.923	0.112	0.086	0.517
中足	健康组	111.7±45.0	133.3±86.1	76.3±62.0	50.4±48.7	26.7±8.6
	患者组	107.8±35.2	138.8±71.7	83.9±53.9	56.7±36.0	28.4±8.5
	<i>t</i>	0.564	0.406	0.750	0.855	1.087
	<i>P</i>	0.573	0.685	0.455	0.394	0.279
后足	健康组	410.1±101.2	410.4±103.1	166.6±51.6	110.3±38.6	33.7±4.8
	患者组	402.8±80.2	382.5±79.2	163.2±45.2	110.2±32.9	32.1±4.1
	<i>t</i>	0.447	1.776	0.409	0.010	2.051
	<i>P</i>	0.656	0.078	0.683	0.992	0.043
总体	健康组	1 882.3±407.3	1 158.5±269.7	510.7±156.7	337.6±132.5	118.9±18.1
	患者组	1 805.5±384.7	1 138.6±242.3	539.8±165.8	363.6±107.2	117.8±14.7
	<i>t</i>	1.111	0.447	1.028	1.252	0.380
	<i>P</i>	0.268	0.655	0.306	0.213	0.705

表 3 两组受试者足底生物力学十分区比较(±s)

分区	分组	峰值压强/kPa	最大压力/N	平均压力/N	冲量/(N·s)	接触面积/cm <sup>2</sup>
Toe1	健康组	211.8±82.3	81.4±33.0	27.4±13.9	18.1±9.7	6.2±1.7
	患者组	184.7±71.5	76.7±33.7	28.2±15.7	19.0±10.0	6.2±1.4
	<i>t</i>	2.033	0.801	0.314	0.514	0.123
	<i>P</i>	0.044	0.425	0.754	0.608	0.902
Toe2~5	健康组	190.3±80.4	123.2±59.3	48.8±30.4	32.5±28.6	13.5±4.1
	患者组	155.0±79.7	112.5±70.2	51.2±43.3	34.3±27.5	13.3±3.5
	<i>t</i>	2.520	0.928	0.362	0.368	0.306
	<i>P</i>	0.013	0.355	0.718	0.713	0.761
Meta1	健康组	186.5±67.6	83.2±34.9	35.4±16.1	23.3±10.1	7.9±1.5
	患者组	181.4±59.4	84.5±28.1	37.5±14.7	25.2±10.1	8±1.4
	<i>t</i>	0.463	0.233	0.805	1.114	0.093
	<i>P</i>	0.644	0.816	0.422	0.267	0.926
Meta2	健康组	205.4±71.5	73.5±26.0	32.9±13.4	21.5±8.5	6.5±1.1
	患者组	197.8±56.2	74.7±23.9	35.9±13.2	24.2±9.1	6.3±1.1
	<i>t</i>	0.663	0.281	1.290	1.762	0.986
	<i>P</i>	0.509	0.779	0.199	0.080	0.326
Meta3	健康组	215.3±64.4	87.0±25.5	39.2±13.6	25.9±10.0	7.9±1.1
	患者组	220.3±58.6	96.3±30.0	47.2±17.3	31.8±12.0	7.6±1.1
	<i>t</i>	0.472	1.864	2.863	3.012	1.563
	<i>P</i>	0.638	0.065	0.005	0.003	0.121
Meta4	健康组	188.2±53.8	83.4±24.6	39.8±13.0	26.3±10.6	7.6±1.0
	患者组	192.0±55.4	88.7±26.1	45.7±15.8	31.0±10.9	7.4±0.9
	<i>t</i>	0.396	1.190	2.314	2.461	1.628

2.3 两组受试者足底生物力学十分区比较

如表 3 所示,患者组 HM 区域的足底接触面积较健康组小,且差异有统计学意义。患者组 Meta3 及 Meta4 区域的足底平均压力较健康组大,且差异有统计学意义。患者组 Meta3 及 Meta4 区域的足底冲量较健康组大,且差异有统计学意义。患者组 Toe1 及 Toe2~5 区域的峰值压强较健康组小,且差异有统计学意义。患者组与健康组的足底最大压力差异无统计学意义。

(接表 3)

分区	分组	峰值压强/kPa	最大压力/N	平均压力/N	冲量/(N·s)	接触面积/cm <sup>2</sup>
Meta5	<i>P</i>	0.693	0.236	0.022	0.015	0.106
	健康组	163.0±55.0	83.2±34.2	43.4±18.7	29.3±14.6	8.7±2.0
	患者组	163.7±53.3	84.0±27.0	45.8±16.0	31.2±10.6	8.6±1.2
	<i>t</i>	0.078	0.161	0.814	0.807	0.394
Midfoot	<i>P</i>	0.938	0.872	0.417	0.422	0.695
	健康组	111.7±45.0	133.3±86.1	76.3±62.0	50.4±48.7	26.7±8.6
	患者组	107.8±35.2	138.8±71.7	83.9±53.9	56.7±36.0	28.4±8.5
	<i>t</i>	0.564	0.406	0.750	0.855	1.087
HM	<i>P</i>	0.573	0.685	0.455	0.394	0.279
	健康组	203.3±61.9	207.3±62.6	84.2±32.2	55.3±20.5	17.8±2.7
	患者组	205.9±47.4	193.8±45.6	82.0±24.0	55.3±16.7	16.8±2.3
	<i>t</i>	0.266	1.449	0.452	0.006	2.223
HL	<i>P</i>	0.790	0.150	0.652	0.996	0.028
	健康组	206.7±46.8	203.1±51.9	82.5±23.7	55.1±21.1	16.0±2.4
	患者组	197.0±39.1	188.7±42.9	81.2±25.9	55.0±19.4	15.3±2.1
	<i>t</i>	1.317	1.758	0.284	0.023	1.629
	<i>P</i>	0.190	0.081	0.777	0.982	0.106

3 讨论

从一般资料看,患者组身高较健康组低,而 BMI 却高于健康组,因此患者组体型更偏向肥胖,而肥胖是跖筋膜炎的主要致病因素之一<sup>[7-8]</sup>。

通过本研究足底三分区的统计学计算发现,患者组后足接触面积较健康组小,且经过足底十分区进一步对比发现患者后足内侧接触面积较健康者差异更明显,这与跖筋膜炎查体时足底压痛点一致<sup>[3]</sup>,表明患者在行走时采用踮脚的形式,即后足不完全负重、足部呈轻度跖屈状态,因此接触面积减少,这一点尤其凸显于后足内侧。张庆来等<sup>[9]</sup>研究表明正常人行走过程中足底冲量最大区域主要分布在第 2,3 跖骨和足跟内侧,本次测试中在健康人群中也观察到这一点。而本次测试中患者足部呈外侧负重压力负荷由第 2,3 跖骨向外侧转移,因此表现为第 3,4 跖骨区域冲量增大,且与正常组差异有统计学意义。同时还观察到患者组在前足各区域的足底冲量、平均压力均较健康组大,分析原因为患者因后足疼痛造成前足负荷的增加,使得前足平均压力增大,而冲量的计算为压力-时间积分,因此呈现为前足冲量的增大,且因后足内侧的疼痛,使足部踩地时更偏向足外侧负重。综上所述,各类结果均表明后足内侧的疼痛迫使足轻度内翻并以足外侧负重。

人在行走时支撑其末端蹬地状态由前足完成,足趾也参与发力,而处于跛行步态时,步幅减小,支撑期末端足趾发力减小甚至不发力<sup>[10]</sup>,而本次研究患者组足趾两分区的峰值压强均小于健康组,且差异有统计学意义,提示足趾蹬地力量下降。患者组足底最大压力相比健康组差异虽无统计学意义,但除足趾分区外,后足及足的内侧区域均小于健康组,提示患足蹬地力

量小于正常足。综上所述,本研究的足底压力对比分析结果与临床实际观察及逻辑相符,跖筋膜炎患者行走时足部特征表现为轻度跖屈及内翻;足底生物力学特点为前足及足外侧负重增加,后足内侧接触减小。

此外,从足底压力分析结果看,足底压力部分指标或单独、或联合间接体现了疼痛。临床最常用的疼痛评分为视觉模拟评分法(VAS 评分),但 VSA 评分较为主观,足底压力分析可以很好地量化跖筋膜炎患者的足底压力分布情况,在此后进一步的研究中将结合足底压力指标,发现两者的关系,尝试以足底压力相关指标来评估跖筋膜炎患者的疼痛程度。若应用于临床,可更好地协助诊断、评估病情,并可以在治疗过程中评价治疗效果。

参考文献

[1] MOHSENI-BANDPEI M A, NAKHAE M, MOUSAVI M E, et al. Application of ultrasound in the assessment of plantar fascia in patients with plantar fasciitis; a systematic review [J]. Ultrasound Med Biol, 2014, 40(8):1737-1754.

[2] 张洙, 罗庆金, 欧阳建彬. 浅谈跖筋膜炎[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2017, 5(29):25.

[3] SUN P C, SHI S L, CHEN Y L, et al. Biomechanical analysis of foot with different foot arch heights; a finite element analysis[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2012, 15(6):563-569.

[4] ALTMAN R D, BEATTIE P, CORNWALL M, 等.《国际功能、残疾和健康分类·足跟痛/足底筋膜炎:2014 修订版》临床实践指南[J]. 康复学报, 2019, 29(1):2-20.

[5] 王和鸣. 中医骨伤科学[M]. 北京:中国中医药出版社, 2018:291.