

- [21] Fleuren KM, Smit LS, Stijnen T, et al. New reference values for the Alberta Infant Motor Scale need to be established[J]. Acta Paediatr, 2007,96(3): 424—427.
- [22] Day RE. Developmental pediatrics [M]. In: Forfar and Arneil's Textbook of Pediatrics (eds N. McIntosh P. Helms & R. Smyth) [M]. USA: Churchill Livingstone, Philadelphia, PA, 2004. 107—143.
- [23] Palmer FB, Capute AJ. Streams of development: the keys to developmental assessment [M]. In: Oski's Essential Pediatrics (eds M. Crocetti & M. A. Barone) [M]. USA: Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, 2004. 120—122.
- [24] Phagava H, Muratori F, Einspieler C, et al. General movements in infants with autism spectrum disorders [J]. Georgian Med New, 2008,156:100—105.
- [25] Seme-Ciglenecki P. Predictive values of cranial ultrasound and assessment of general movements for neurological development of preterm infants in the Maribor region of Slovenia[J]. Wien Klin Wochenschr, 2007,119: 490—496.
- [26] Valentin T, Uhl K, Einspieler C. The effectiveness of training in Prechtl's method on the qualitative assessment of general movements[J]. Early Hum Dev, 2005, 81: 623—627.
- [27] Piper MC, Darrah J. Motor assessment of the developing infant[M]. Alberta: Saunders. 1994.
- [28] Jeng SF, Yau KI, Chen LC, et al. Alberta infant motor scale: reliability and validity when used on preterm infants in Taiwan[J]. Phys Ther, 2000, 80(2):168—178.
- [29] Campos D, Santos DC, Goncalves VM, et al. Agreement between scales for screening and diagnosis of motor development at 6 months[J]. J Pediatr (Rio J), 2006,82:470—474.
- [30] Darrah J, Piper M, Watt MJ. Assessment of gross motor skills of at-risk infants: predictive validity of the Alberta Infant Motor Scale[J]. Dev Med Child Neurol, 1998,40(7):485—491.
- [31] Campos D, Santos DCC, Goncalves VMG. Agreement between scales for screening and diagnosis of motor development at 6 months[J]. J Pediatr, 2006,82(6):470—474.
- [32] van Haastert IC, de Vries LS, Helders PJ, et al. Early gross motor development of preterm infants according to the Alberta Infant Motor Scale[J]. J Pediatr, 2006,14(9):617—622.
- [33] Liao P, Campbell SK. Examination of the item structure of the Alberta infant motor scale[J]. Pediatr Phys Ther, 2004,16:31—38.

· 综述 ·

糖尿病患者足底压力研究进展

高军艳¹ 李树屏^{1,2,3}

糖尿病是由遗传和环境因素相互作用而引起的临床综合征。糖尿病常见的慢性并发症包括神经病变、血管病变、皮肤感染等^[1]。糖尿病按神经病变分为伴有周围神经病变性糖尿病和不伴有周围神经病变性糖尿病^[2-4]。其中,周围神经病变包括运动神经病变和感觉神经病变。糖尿病周围神经病变最常见且症状较早出现的为下肢病变^[1]。伴有周围神经病变的糖尿病患者更易发生溃疡,甚至截肢。糖尿病患者足部溃疡的发生最主要的原因是周围神经病变引起患者腿和足对外界不良刺激,如疼痛、冷热、振动的反应减退或消失^[5]。同时,周围感觉神经病变的糖尿病患者足底对外界刺激的感觉功能下降还与运动神经病变有关,运动神经病变可导致足底肌肉萎缩,跖趾关节的稳定性下降,跖骨头下面的脂肪垫向前移位,使行走过程中的前足部位更容易因为累积的创伤而导致损伤。糖尿病足溃疡还与足底局部重复出现的过大的足底压力有关^[6]。而不正常压力正是由于下肢及足底神经病变,血管病变以及易发生感染等因素造成的^[7-9]。因此,当足底出现创伤或者某一区域出现过大的压力时,患者不能感受到创伤或过大压力造成的不舒适感,从而不能通过改变身体姿势来缓解和调整不良刺激,造成足底组织缺血、坏死,导致足底溃疡的发生^[9]。临床上主要通过足底压力测试仪器检测糖尿病患者不正常足底压力,进而采取适当的方法改善足底压力分布,从而预防和减少足底溃疡和坏死的发生。本文主要从糖尿病患者足底不正常压力的特征,引发不正常压力的原因以及如何改善不正常压力这三个方面进行综合阐述,系统归纳和总结国内外在糖尿病足底压力这一研究领域的研究现状,

并提出新的研究前景。

1 糖尿病患者足底压力特征

糖尿病足足底受力是来自多方面的,有垂直的压力^[6],还有剪应力即呈左右方向垂直于冠状面的力与呈前后方向垂直于矢状面的力^[9-12]。这些力长期作用于糖尿病足足底某一特定区域,就会造成足底溃疡的发生。

1.1 糖尿病患者足底垂直压力特征

研究表明,合并周围神经病变的糖尿病患者的平均峰值足底垂直压力明显高于正常人,以及没有周围神经病变的糖尿病患者,表现为足弓及第二趾处压力明显降低,第二跖骨头处压力明显增加^[3]。王爱红等^[3]研究也表明此类患者的足底压力表现为第三跖骨头、第五跖骨头峰值压力增高,足弓部位峰值压力显著降低。周围神经病变性糖尿病患者与健康人相比,在行走过程中,足底压力主要集中在前足部位的跖骨头处^[13]。不正常的足底压力是神经病变性糖尿病足的主要症状。二型糖尿病合并周围神经病变与未合并周围神经病变的糖尿病患者相比,前足区域压力更高,糖尿病合并周围神经病变患者更易患前足溃疡^[4]。Arm-strong^[6]研究同样表明:有足

1 湖北大学体育学院运动人体科学系,湖北省武汉市武昌区学院路11号,430062

2 湖北大学动作控制与发展研究中心

3 通讯作者

作者简介:高军艳,女,硕士研究生

收稿日期:2008-12-31

部溃疡的糖尿病患者比没有足部溃疡的糖尿病患者的足底平均峰值压强更高。足底溃疡主要发生在第一、二、三跖骨头和大脚趾处。如果前足的压力重复出现的频率很高,会导致对疼痛和压力缺乏感觉的患者出现炎症,进而导致溃疡。为了减少糖尿病患者足底前足部位压力过高而造成的足底软组织损伤,关键就是降低前足部位过高的足底压力。

1.2 糖尿病患者足底剪应力特征

有研究者将测量垂直足底压力与剪应力结合起来,共同探索此类患者的足底受力的特征^[14]。与健康人相比,糖尿病患者穿处方鞋时足底受到的剪应力集中在前足内侧的第一跖骨头^[15]。糖尿病合并神经病变、糖尿病无神经病变、糖尿病有溃疡史的患者与健康人赤足时在脚后跟、跖骨头、大脚趾三个区域的受力进行比较,糖尿病且有溃疡史的患者外侧跖骨头处垂直于矢状面的峰值压力就明显高于健康人。同时,糖尿病合并神经病变和糖尿病有溃疡史的患者跖骨头区域在垂直方向上的峰值压力都明显高于健康人。Dequon Zou等^[16-17]进一步研究得出,在周围神经病变性糖尿病且有足底溃疡史的患者中,前足部位的足底组织内部的最大剪应力明显高于足后跟部位,但是最大剪应力的深度却相对浅。而足底最大剪应力深度与足底组织的厚度成反比,即足底组织越厚的地方发生溃疡比足底组织薄的部位浅。因此前足部位与后足相比,虽然承受的峰值压力相差不大,但是由于前足部位的最大剪应力大且最大剪应力深度浅,因此前足部位的皮肤比后足部位的皮肤容易破损而发生溃疡。这些特征为研究糖尿病足生物力学机理改变和如何采取相应的措施改变糖尿病患者不正常的步态提供了证据,为治疗或预防糖尿病足足底溃疡的处方鞋的制作提供了理论参考^[11]。

2 糖尿病患者足底压力异常的原因

糖尿病不正常的足底压力是糖尿病足部溃疡发生的重要原因之一,主要与糖尿病下肢周围神经病变、关节肌肉活动障碍有关^[12]。

2.1 糖尿病患者周围神经病变与足底压力的关系

糖尿病足是糖尿病的并发症之一,主要与糖尿病周围神经病变有关,周围神经病变是周围神经系统的损伤或者功能紊乱^[13]。周围神经包括感觉神经、运动神经及自主神经^[15,18],感觉神经病变会导致糖尿病患者足部对疼痛、冷热及振动的感觉下降^[9],当足底某一区域出现过大的压力时,足底具有正常感觉功能的人会自动感受到过大压力造成的不舒适感,身体就会本能地通过改变姿势来缓解过大的压力。但是具有严重周围神经病变的患者缺乏这一重要调节机制,结果足底某一区域过大的压力就会使足底组织缺血、坏死,导致足底溃疡的发生^[5-6]。而对疼痛感觉的缺失,可以直接导致足部的损伤,当足部出现微小的骨折但患者没有察觉而缺乏及时的治疗后,就会导致骨折处形态改变、慢性肿胀和其他骨突出等足部畸形^[9]。感觉神经病变的糖尿病患者由于感觉缺失,与没有神经病变的糖尿病患者相比,足底发生溃疡的危险性增加到7倍^[6]。足底运动神经病变导致足底肌肉萎缩、关节稳定性下降、足底软组织位置和形态改变^[6],使得足部屈肌及伸肌失去平衡,使脚趾呈爪形屈曲状,跖骨头凸

起,脚弓变平,这种改变使得全身重量集中在跖骨头及足跟部,过度的压力负荷将导致足部受压点肿胀的形成。同时,运动神经病变会导致患者身体功能下降,包括平衡能力和稳定性下降^[19],易发生摔倒等等。

2.2 糖尿病患者下肢功能改变与足底压力的关系

引起糖尿病足过高足底压力的原因除了周围神经病变引起感觉缺失之外,下肢肌肉与关节的生物力学功能改变,形成不正常步态,也是引起不正常足底压力的原因^[20-21],因此,有研究同时使用肌电图和足底压力测试系统对糖尿病患者进行测试,得出糖尿病患者下肢肌肉功能障碍的生物力学因素会引起糖尿病患者行走时的步态改变,表现为前足接触地面时间比健康人短,下肢胫骨前肌在脚后跟落地过渡到前足时不能充分地离心收缩,导致糖尿病患者前足落地时间变短,压力集中在跖骨头下,从而使糖尿病患者跖骨头处压力过高^[20]。对糖尿病患者行走过程中下肢肌电、关节的活动及足底压力的同步测试,进一步证实了下肢肌肉功能障碍会导致糖尿病患者不正常的足底压力分布^[21]。对糖尿病患者踝关节与第一跖趾关节的活动范围与峰值足底压力的关系进行探究,得出具有过高足底压力的糖尿病患者第一跖趾关节与踝关节的被动活动范围与健康人相比是显著降低的,糖尿病患者下肢功能改变中包括使足弓变平,形成扁平足;无论是糖尿病患者或者是健康人,扁平足都会使前足和足弓部位的峰值压力增高,而糖尿病患者神经病变本身会导致前足部位压力增加,因此低足弓会加重神经病变性糖尿病足发生溃疡的危险^[22]。

3 缓解糖尿病患者足底压力异常的方法

3.1 矫形装置的应用

矫形装置是安放在人体外部,通过力的作用预防、改善、矫正骨关节疾病和神经肌肉疾患的装置^[23]。其中具有不正常足底压力分布的糖尿病患者可根据脚部发生溃疡的情况,合理选择各种矫形装置,降低脚的局部足底压力^[24]。糖尿病足溃疡的治疗方法中最基本的原则是减少足底不正常的压力^[25]。跖骨圆筒、内翻楔、外翻楔和足弓支撑物等矫形器的运用,可以减轻糖尿病足的特定区域足底压力^[26]。研究表明:内外翻楔对患者的足底压力分布几乎没有影响,而跖骨圆筒或足弓支持物单独使用或者结合起来使用对足底压力的重新分配都有显著性影响,使内外侧跖骨头区域压力明显减小,而对大脚趾的压力影响很小。具体来说,跖骨圆筒与足弓支撑物组合使用减少前足压力最明显,但是舒适度很低,因此,矫形处方用品一方面要改善患者足底不正常的压力分布,同时也要考虑舒适度这一重要因素^[27]。

3.2 处方鞋及鞋垫的应用

处方鞋也能够改善糖尿病患者足底压力分布。处方鞋与传统男士休闲鞋、橡胶底鞋相比,具有额外的深度与宽度,通过糖尿病患者穿传统鞋与穿处方鞋时足底压力特征的对比研究,得到穿处方鞋时糖尿病患者前足、足弓、足后跟三个区域与地面的接触面积都比穿传统鞋时大,同时在三个区域的峰值压强都降低^[28]。进一步的研究也证实了使用处方鞋与矫形装置相结合的方法能够减少糖尿病足局部过高的压力及

足底软组织损伤,例如,使用处方鞋加第二跖骨头圆筒就能够减少第二跖骨头处的压力和软组织的损伤。同时研究得出,软组织的损伤与足底压力高度相关^[29]。但是,有的矫形装置不但不能减少足底局部过高的压力,反而对人体有害,比如,使用一种后跟插片会显著增加前足部位内外侧趾骨头的压力,正好糖尿病患者前足部位足底压力显著地高于正常人,如果使用这种插片,将增加前足溃疡的危险^[30]。因此,在选择矫形装置及处方鞋时,一定要在临床医生的指导下选择通过科学验证的产品^[31]。

有研究者将针对足部受力的三维有限元分析模型的分析方法与足底压力测量结合起来,测量受试者穿两种不同材料制成的内侧足弓支撑的鞋垫与平底鞋垫时足底压力分布情况,研究同样得出两种不同材料制成的鞋垫与平底鞋垫相比,都能够明显降低足跟与跖骨头下过高的足底压力,使这两处的压力集中分配到足弓区域^[32]。还有研究者采用一种全新的力传递算法测量出具有周围神经病变和足部畸形的糖尿病患者穿具有跖骨垫和内侧纵弓支持内置的处方鞋垫时,足后跟与第一跖骨头处的峰值压力与力-时间积分显著减小,而足弓部位的压力与力-时间积分显著增大^[33],因此,这种具有内侧纵弓支撑的处方鞋垫使足底压力重新分配,减少了糖尿病患者容易发生溃疡的第一跖骨头处的压力。同时,文中提出临床医生在给糖尿病患者使用处方鞋垫之前,要对处方鞋垫对糖尿病患者足底压力分布,包括足底受力的重新分布进行测量^[33]。因此,处方鞋垫的设计和研究还需要更多的科学论证。同时鞋内装置不仅仅要能够改善患者足底局部受力,还需要具有足够的舒适度。对具有九种鞋内材料的处方鞋在改善足底压力分布和舒适度两方面进行对比研究表明:由高密度材料制成的鞋垫在改善足底压力方面是最好的,而 6mm 的标准尼龙和 6mm 的缓释尼龙材料结合制成的鞋垫是最舒适的^[34]。

3.3 运动疗法的应用

周围神经病变患者由于周围神经损伤或病变,造成肌肉萎缩,具有行走速度减慢,容易摔倒等特征^[35-36]。Li Li 等^[37]通过身体功能评定方法对比了健康年轻人、健康老年人、周围神经病变老年人的足底感觉功能、膝关节屈伸肌肉力矩、静态平衡能力、运动功能等,发现周围神经病变的老年人足底感觉功能严重缺失,膝关节屈膝力量下降、静态平衡能力下降、行走距离及稳定性降低。糖尿病周围神经病变是周围神经病变中的一种,除了控制血糖水平,防止并发症的发生之外,运动疗法是改善周围神经功能的一种方法,通过运动疗法可以改善肌肉力量和关节活动度。大量的研究已经证明,中等强度的太极拳锻炼可以增强老年人心肺功能、平衡能力、姿势控制能力、下肢肌肉力量及持久力、行走能力及稳定性等各项身体功能,降低老年人摔倒的危险^[38-40]。周围神经病变性糖尿病高发于老年人^[3,14,19],太极拳锻炼还可以改善周围神经病变患者的平衡能力、关节屈伸力矩、行走距离,身体灵活性^[38]。周围神经功能的改善是通过患者足底感受的压力阈值减小反映出来的,有研究表明,在行走和跑步过程中足底大脚趾的感觉阈值与峰值压力呈现负相关^[41],周围神经病变患者通过太极拳锻炼后足底感受压力的阈值减少,使患者足底承受

的压力降低。本体感觉是一种深层的关节活动觉,由存在于肌肉、肌腱、韧带、关节囊、皮肤等处的本体感受器进行调整,产生关节运动的位置觉,速度觉和张力觉。膝关节和踝关节的本体感觉对于老年人维持姿势的稳定性十分重要,长期规律的太极拳锻炼可以改善和增强老年人踝关节和膝关节的本体感觉^[42],因此,对于老年人维持姿势,减少摔倒的危险产生重要意义。

4 展望

4.1 糖尿病患者足底压力测量方法的改进

现今研究多采用在实验室让糖尿病患者在测力板上行走一次或者用鞋垫式足底压力测试系统让患者进行 3 次重复试验以获得数据,但是由于测试时间短,获得的数据不一定完全准确反映患者日常生活所受到的足底压力,进一步的研究可考虑运动时间与运动强度对糖尿病患者步态的影响。糖尿病患者的运动强度受到严格控制,不同运动强度下糖尿病患者步态特征与足底压力特征的数据,可为糖尿病患者的运动疗法提供监控。更全面的研究可将足底压力测量与步态分析、下肢肌肉收缩能力评定、下肢关节活动范围评定、下肢血液循环评定结合起来,同时考虑运动时间、运动量、实验环境等因素的影响。

4.2 改善糖尿病足底压力分布的处方装置的改进

在糖尿病患者处方鞋及矫形装置的研究中,还需要进一步考虑到患者的舒适感。因此,对矫形装置及处方鞋的研究,应该将改善足底压力的功能与患者自我感觉舒适度结合起来进行研究。

4.3 糖尿病患者康复方法的改进

糖尿病的治疗除了药物治疗控制血糖之外,运动疗法应该得到重视。大量的研究已经证明适宜的运动如太极拳能够改善和增强老年人的各项身体功能,改善周围神经的功能及下肢和足底本体感觉功能,提高患者的生存质量,对周围神经病变糖尿病患者与没有周围神经病变的糖尿病患者都有效。因此,对于糖尿病患者的治疗和康复,应该将运动疗法和药物治疗结合起来。

参考文献

- [1] 方朝晖. 糖尿病家庭调养[M]. 第 1 版. 上海: 上海中医药大学出版社, 2006, 80—87.
- [2] 袁刚, 张木勋, 张建华. 糖尿病患者足底压力研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2002, 10(5): 262—264.
- [3] 王爱红, 李家兰, 许樟荣, 等. 2 型糖尿病患者的足底压力研究[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2005, 21(6): 500—501.
- [4] Rahman MA, Aziz Z, Acharya UR, et al. Analysis of plantar pressure in diabetic type 2 subjects with and without neuropathy [J]. ITBM-RBM, 2006, 27(2): 46—55.
- [5] Boulton AJM. Management of diabetic peripheral neuropathy[J]. Clinical Diabetes, 2005, 23(1): 9—16.
- [6] Kwon OY, Mueller MJ. Walking patterns used to reduce forefoot plantar pressures in people with diabetic neuropathies [J]. Physical Therapy, 2001, 81(2): 828—835.
- [7] 王永慧. 糖尿病患者足底压力改变与足溃疡的关系 [J]. 国外医学·内分泌学分册, 2004, 24(5): 324—326.
- [8] Pham H, Armstrong DG, Harvey C, et al. Screening techniques

- to identify people at high risk for diabetic foot ulceration[J]. *Diabetes Care*, 2000, 23(5): 606—611.
- [9] Lott DJ, Zou D, Mueller MJ. Pressure gradient and subsurface shear stress on the neuropathic forefoot[J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(3): 342—348.
- [10] Zou D, Sinacore DR, Bohnert KL, et al. Subsurface shear stress associated with forefoot skin breakdown on the neuropathic foot[J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 682—683.
- [11] Uccioli L, Caselli A, Giacomozzi C, et al. Pattern of abnormal tangential forces in the diabetic neuropathic foot [J]. *Clinical Biomechanics*, 2001, 16(5): 446—454.
- [12] 吴景芳, 孟庆民. 缓解足底压力与有效防治糖尿病足溃疡发生体会[J]. *中国误诊学杂志*, 2007, 7(28): 6796.
- [13] Merolli A, Uccioli L. Plantar pressure distribution in patients with neuropathic diabetic foot [J]. *Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics*, 2005, 3(1): 61—64.
- [14] Perry Julie E, Hall James O, Davis BL. Simultaneous measurement of plantar pressure and shear forces in diabetic individuals[J]. *Gait and Posture*, 2002, 15(1): 101—107.
- [15] Lord M, Hosein R. A study of in-shoe plantar shear in patients with diabetic neuropathy [J]. *Clin Biomech*, 2000, 15(4): 278—283.
- [16] Zou D, Mueller MJ, Lott DJ. Effect of peak pressure and pressure gradient on subsurface shear stresses in the neuropathic foot[J]. *Journal of Biomechanics*, 2007, 40(4): 883—890.
- [17] Zou D, Sinacore DR, Bohnert KL, et al. Estimating subsurface shear stress in the neuropathic foot from plantar pressure distribution[J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 696—697.
- [18] Mueller MJ, Zou D, Lott DJ. “Pressure gradient” as an indicator of plantar skin injury[J]. *Diabetes Care*, 2005, 28(12): 2908—2912.
- [19] Padua L, Schenone A, Aprile I, et al. Quality of life and disability assessment in neuropathy: a multicentre study [J]. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 2005, 10(1): 3—10.
- [20] Abboud RJ, Rowley DI, Newton RW. Lower limb muscle dysfunction may contribute to foot ulceration in diabetic patients[J]. *Clinical Biomechanics*, 2000, 15(1): 37—45.
- [21] Rajput B, Arnold G, Gibbs S, et al. Integrating pressure distribution measurement and gait analysis: a contribution to the diabetic foot [J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 715—716.
- [22] Sacco ICN, Bacarin TA, Watari R, et al. Lower longitudinal plantar arch in diabetic neuropathy: effects in plantar pressure during gait[J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 709—710.
- [23] 陈建. 矫形器在运动损伤康复中的应用进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(4): 384—387.
- [24] Mike Edmonds MD, Ali Foster DPM. The use of antibiotics in the diabetic foot[J]. *The American Journal of Surgery*, 2004, 187(5): 25—28.
- [25] Pataky Z, Vischer U. Diabetic foot disease in the elderly[J]. *Diabetes & Metabolism*, 2007, 33(4): 556—565.
- [26] Guldmond NA, Walenkamp GHIM, Leffers P, et al. The effect of insole configurations on plantar pressure in diabetic patients with neuropathic feet[J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 707—708.
- [27] Guldmond NA, Leffers P, Schaper NC, et al. The effects of insole configurations on forefoot plantar pressure and walking convenience in diabetic patients with neuropathic feet [J]. *Clinical Biomechanics*, 2007, 22(1): 81—87.
- [28] Bacarin TA, Pereira CS, Sacco ICN. Effect of usual versus therapeutic shoes in the decrease of plantar pressure in diabetic neuropathic subjects [J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 687—688.
- [29] Lott DJ, Hastings MK, Commeyan PK, et al. Effect of footwear and orthotic devices on stress reduction and soft tissue strain of the neuropathic foot [J]. *Clinical Biomechanics*, 2007, 22(3): 352—359.
- [30] Ramanathan AK, John MC, Arnold GP, et al. The effects of off-the-shelf in-shoe heel inserts on forefoot plantar pressure [J]. *Gait Posture*, 2008, 28(4): 533—537.
- [31] Begg I, Burns JA. A comparison of insole materials on plantar pressure and comfort in the neuroischaemic diabetic foot [J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 710—711.
- [32] Chen WP, Ju CW, Tang FT. Effects of total contact insoles on the plantar stress redistribution: a finite element analysis [J]. *Clinical Biomechanics*, 2003, 18(6): 817—824.
- [33] Bus SA, Ulbrecht JS, Cavanagh PR. Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity[J]. *Clinical Biomechanics*, 2004, 19(6): 629—638.
- [34] Begg L, Burns J. A comparison of insole materials on plantar pressure and comfort in the neuroischaemic diabetic foot [J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(5): 710—711.
- [35] Manor B, Wolenski P, Li L. Faster walking speeds increase local instability among people with peripheral neuropathy [J]. *Journal of Biomechanics*, 2008, 41(13): 2787—2792.
- [36] 田德虎. 周围神经损伤与康复[J]. *中国康复医学杂志*, 2007, 22(2): 99.
- [37] Boss C, Manor B, Li L. Selected function performance in healthy young and old, as well as people with peripheral neuropathy [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2008, 40(5): S88.
- [38] 荣湘江, 马炳存. 太极拳运动对中年人平衡能力的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(4): 344—346.
- [39] Li JX, Hong YL, Chan KM. Tai chi: physiological characteristics and beneficial effects on health [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2001, 35(3): 148—156.
- [40] Xu DQ, Zhang W, Hong YL, et al. The influence of regular Tai Chi exercise on neuromuscular reaction in old people [J]. *International Symposium on Biomechanics in Sports*, 2004, 13(8): 458—461.
- [41] Nurse MA, Nigg BM. Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait [J]. *Clinical Biomechanics*, 1999, 14(9): 667—672.
- [42] Li JX, Xu DQ, Hong YL. Effects of 16-week Tai Chi intervention on postural stability and proprioception of knee and ankle in older people [J]. *Age and Aging*, 2008, 37(5): 575—578.