

## ·综述·

## 下肢残损功能评价标准和方法研究进展

张敏<sup>1,2</sup>, 范利华<sup>2</sup>, 冉聃<sup>2</sup>, 夏晴<sup>2</sup>

(1. 华东政法大学刑事司法学院, 上海 200042; 2. 司法鉴定科学研究院 上海市法医学重点实验室 上海市司法鉴定专业技术服务平台, 上海 200063)

**摘要:** 下肢残损由疾病、意外、工伤、交通事故、打架斗殴等原因引起, 下肢骨关节、神经、肌肉、肌腱等的损伤均有可能导致下肢功能障碍。目前国内外对于下肢残损功能评价的标准并不统一, 行业之间的评价标准也不尽相同, 且下肢残损功能评价尚无完整的研究机制。而下肢残损程度对人身损害赔偿结果影响较大, 因此下肢功能评定常常成为法医学鉴定中的争议问题。本文综述了下肢残损功能的评价标准、方法及现状, 希望为下肢残损功能的标准化研究提供新的思路。

**关键词:** 法医学; 下肢; 综述; 残损功能评价; 标准

中图分类号: DF795.1 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2018.02.015

文章编号: 1004-5619(2018)02-0175-06

## Research Progress on Function Evaluation Standard and Method of Lower Extremity Impairment

ZHANG Min<sup>1,2</sup>, FAN Li-hua<sup>2</sup>, RAN Dan<sup>2</sup>, XIA Qing<sup>2</sup>

(1. College of Criminal Justice, East China University of Political Science and Law, Shanghai 200042, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Forensic Medicine, Shanghai Forensic Service Platform, Academy of Forensic Science, Shanghai 200063, China)

**Abstract:** The lower extremity impairment can be caused by illness, accident, work-related injury, traffic accident and fighting, etc. The injuries of lower extremity joint, nerve, muscle and tendon may lead to lower extremity dysfunction. So far, there is no unified standard for international and domestic function evaluation of lower extremity impairment, the evaluation standards in the same field are also different, and function evaluation of lower extremity impairment has no complete research system. However, the degree of lower extremity impairment has great influence on personal damage compensation. Therefore, the function evaluation of lower extremity impairment often becomes a dispute issue in forensic medicine identification. This article summarizes the function evaluation standards, methods and status quo of lower extremity impairment, so as to provide a new insight into the research on standardization of lower extremity impairment.

**Keywords:** forensic medicine; lower extremity; review; evaluation of impairment function; standard

下肢残损(lower extremity impairment, LEI)是指下肢因伤、病或发育异常所致的缺失、畸形或功能障碍, 除此以外, 中枢神经或周围神经因伤、病或发育异常造成的下肢功能障碍也属于下肢残损的范畴。据统

计, 2013年美国成年人的伤残形态中, 以肢体功能残损最多, 其次是认知功能障碍<sup>[1]</sup>, 而且肢体损伤容易导致身体处于长期残疾的状态<sup>[2]</sup>。目前国内外对于下肢残损功能评价标准并不统一, 且下肢残损功能评价的技术方法尚处于研究探索阶段, 本文就目前国内外下肢残损功能的评价标准及技术方法进行综述。

### 1 国外下肢残损功能评价标准现状

《国际功能、残疾和健康分类》(International Classification of Function, Disability and Health, ICF)是世界卫生组织制定的关于健康和与健康有关状况的分类系统, 其对个人的评估从身体功能和结构、活动和

**基金项目:**“十三五”国家重点研发计划资助项目(2016YFC0800701);上海市法医学重点实验室资助项目(17DZ2273200);上海市司法鉴定专业技术服务平台资助项目(16DZ2290900);中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目(GY2016G-2)

**作者简介:**张敏(1987—), 女, 博士研究生, 主检法医师, 主要从事法医临床学科研与鉴定; E-mail: zhangmin-happy@163.com  
**通信作者:**夏晴, 男, 副主任法医师, 主要从事法医临床学科研和鉴定; E-mail: xiaqing0128@126.com

参与、环境因素、个人因素四个方面进行,将一个人的功能和残疾视为疾病、障碍、损伤、创伤与背景性因素之间动态交互作用的结果,将残疾作为对损伤、活动受限和参与局限性的一个概括性术语,表示在个体(有某种健康情况)和个体所处的情景性因素(环境和个人因素)之间发生交互作用的消极方面。ICF 身体功能中涉及肢体残疾的主要是第 7 种——与神经、肌肉骨骼和运动有关的功能;ICF 身体结构中涉及肢体残疾的主要是第 1 种(神经系统结构)和第 7 种(与运动有关的结构)。ICF 一般用限定值来表示功能障碍、损伤程度、损伤范围和损伤部位,具体到下肢残损功能,下肢截肢、先天性残缺以及畸形对应 ICF 身体结构中下肢结构 s750 条目而定<sup>[3]</sup>。

美国医学会研究制定的《永久性残损评定指南》(American Medical Association Guides to the Evaluation of Permanent Impairment)为评价人体功能残损程度提供了操作指南,具体介绍了下肢肢体功能障碍评定标准。《永久性残损评定指南》自 1971 年第一次出版,迄今已经修改发行至第六版。其将下肢功能障碍分为肢体截肢(趾)功能缺损评定、长度不等功能障碍评定、关节活动障碍功能评定、肌肉萎缩功能障碍评定、神经损伤评定、步态异常分析评定、下肢疾病及损伤评定、肌力评定及关节炎评定等。《永久性残损评定指南》认为髌、膝关节功能障碍均可达下肢功能完全丧失,踝关节功能障碍所致下肢功能丧失最大不超过 62%,如涉及多关节损伤时,则需通过 AB 复合法计算,按照这种方法,无论何种损伤,最终下肢功能丧失值都不会超过 100%<sup>[4]</sup>。目前,《永久性残损评定指南》在美国、加拿大、澳大利亚、韩国、伊朗等国家已经被作为残损评估的主要依据进行使用<sup>[5-9]</sup>。除此以外,疾病影响程度测定量表(Sickness Impact Profile, SIP)也是美国临床医学中主要使用的肢体功能评价方法之一。SIP 从 1970 年开始被临床认可并使用,包含 136 项与日常生活有关的评价指标,综合评估患者的自理能力、肢体功能及心理状态,被证明是对人体功能评估可靠和有效的方法<sup>[10]</sup>。

Fugl-Meyer 运动功能评定量表是国际上最早出现的评价中风后肢体运动功能的评分量表,目前也广泛应用于其他临床肢体功能评定,包括上肢和下肢功能评分量表两部分,其下肢功能评分量表通过仰卧位、坐位、站位等不同体位条件下髌、膝、踝三大关节的活动、相关肌肉反射以及关节协同运动来整体评估下肢功能,具有较高的可靠性和有效性<sup>[11]</sup>。另外,下肢功能量表(Lower Extremity Functional Scale, LEFS)也是临床上常用的下肢功能评定量表,该量表根据运动

强度可以分为 4 个维度,分别是日常生活、轻体力活动、中体力活动和重体力活动,通过 4 个维度综合评估下肢残损功能<sup>[12]</sup>。

除了上述几种通用的评估体系外,在一些欧洲国家,如:在英国,临床上常用关节活动功能和肌肉力量查表方法<sup>[13]</sup>评估下肢残损功能;荷兰神经协会制定的盖斯神经病学残疾评估量表(Guy's Neurological Disability Scale, GNDS)也被广泛使用,GNDS 包含 12 个功能域,每个功能域代表了不同的残疾程度<sup>[14]</sup>。亚洲国家中,《韩国医学会下肢委员会残损评定指南》(Lower Extremities Committee of Korean Academy of Medical Sciences Guideline for Impairment Rating)由韩国医学委员会根据《永久性残损评定指南》、韩国骨科协会残疾功能评定方法、韩国神经外科协会残疾功能评定方法和韩国康复医学科学院残疾功能评定方法等多种下肢功能评定方法制定,包括双下肢长度差异、关节僵硬、截肢程度、神经血管损伤、皮肤缺失、活动角度及肌肉力量一系列评价指标<sup>[15]</sup>;在日本,目前下肢功能主要根据关节活动度、双下肢长度差异、股骨大转子移动幅度、步态平衡、跨越宽度、双足大拇指力度等参考指标综合评定<sup>[16]</sup>。

## 2 国内下肢残损功能评价标准现状

我国目前法医临床学下肢残损功能评价主要集中在工伤鉴定、道路交通事故残损级别评定、伤情鉴定、军人残疾鉴定、保险纠纷鉴定等领域。在工伤鉴定中,下肢功能残损级别是按照肢体长度、骨折类型、必要治疗方法、残缺部位、关节僵直、畸形等情况而定。道路交通事故残损级别评定根据下肢长度、关节活动功能丧失程度、肌力、行走功能、残缺部位等,且其中关于关节活动功能丧失程度目前也没有统一的计算方法,导致实践中做法不一,影响了结果的客观公正。在 2017 年 3 月 23 日,国家质量监督检验检疫总局、国家标准委员会发布了《关于废止〈微波和超短波通信设备辐射安全要求〉等 396 项强制性国家标准的公告》,396 项强制性国家标准中包括《道路交通事故受伤人员伤残评定》(简称《道标》),这标志着《道标》的正式废止。在伤情鉴定中,下肢残损级别和交通事故类似,一般也是按照下肢长度、关节活动功能丧失程度、肌力、行走功能、残缺部位等评定,但不同的是其关节活动功能丧失程度及肢体瘫痪致肢体功能丧失程度根据其规定的“肢体关节丧失程度评价使用说明”计算,即根据关节活动度和肌力查表得出下肢功能丧失程度。军人残疾鉴定中,下肢残损功能的评定主要是从感觉、肌力、关节僵直、长度、残缺部位、手术种类等几

个方面考虑,不涉及具体的关节活动功能。在保险纠纷鉴定中,下肢功能的评定主要集中于下肢结构损伤、足或关节功能障碍以及肌肉力量功能障碍,关节功能障碍只要求描述部分或完全功能障碍,并没有要求计算具体关节功能丧失程度。在2017年1月1日以前,除上述几个鉴定标准外,人体损伤致残程度评定标准在国内各地区不统一,部分地区因无标准可依而参照《道标》处理,自2017年1月1日以后,由最高人民法院、最高人民检察院、公安部、安全部、司法部五部委联合发布的《人体损伤致残程度分级》成为全国范围内统一适用的人体损伤致残程度评定标准,其下肢功能主要从肌力、单个关节功能的丧失程度进行评价。

在我国临床医学领域,除了上述几种国外常用的下肢功能评定量表大量被借鉴或改良应用于临床疗效评价以外,对于下肢功能康复疗效评价,“三三三原则”<sup>[17]</sup>被认为是简单量化、易于应用的一种新方法,是指屈髋功能的恢复占30%,屈膝功能的恢复占30%,背伸踝功能的恢复占30%,三者组合起来形成一个屈髋、屈膝、背伸踝的正常运动模式占10%,四者均能达到要求,下肢步行功能就有可能恢复至发病前的100%。而对于骨科临床疗效下肢功能评价,患者满意度调查、关节活动度测量、双下肢长度差异、步态观察等都可以作为评价指标。

### 3 下肢残损功能评价的技术方法

上述ICF、《永久性残损评定指南》、SIP、Fugl-Meyer运动功能评定量表、LEFS、GNDS、《韩国医学会下肢委员会残损评定指南》都是用来评估下肢功能的标准或量表,是下肢残损功能评价的标准方法,而具体到技术方法层面,目前国内外常用的下肢功能评定技术方法主要包括肌肉功能测定、平衡功能测定以及三维运动捕捉技术等。

#### 3.1 肌肉功能测定

肌力检查是肌肉功能评定最基本的检查方法,肌力是指肌肉收缩的力量,肌力检查是测定受试者在主动运动时肌肉或肌群的收缩力量,以评定肌肉的功能状态。传统的肌力检查方法主要是徒手肌力检查法,即Lovett分级法。徒手肌力检查法操作简便,对硬件性能要求较低,但对检查者的经验以及被检查者的配合程度要求很高。

肌电图检查也是肌肉功能评定的一种辅助手段,其应用电子学仪器记录肌肉静止或收缩时的电活动以及应用电刺激检查神经、肌肉兴奋及传导功能的方法,通过肌电图检查可以确定周围神经、神经元、神经肌肉接头及肌肉本身的功能状态。1943年,WEDDELL<sup>[18]</sup>

首先报道了肌电图检查在外周神经损伤中的诊断敏感性。1986年,MANN等<sup>[19]</sup>介绍了肌电图在慢跑、短跑中对下肢肌肉的监测作用,并认为增加速度的主要肌群为髋部的屈肌和膝关节的伸肌。此后,肌电图被广泛应用于临床各种肌肉功能的检查与诊断中。1995年,CIPRIANI等<sup>[20]</sup>报道了在双下肢倒走时肌电图对肌肉功能的评估,认为在有坡度的道路上倒走时双下肢肌肉运动会明显增强。2003年,SAKAMOTO等<sup>[21]</sup>报道了下肢肌电图在弯腰测试中的改变,认为下肢肌电图在弯腰45°时活动更加显著。2012年,夏晴等<sup>[22]</sup>报道了针极肌电图与神经功能传导检测在法医学鉴定中的应用。肌电图检查为一种创伤性检查,插针时会引起被检测者的不适,佩戴心脏起搏器、心律转复设备的患者不宜行肌电图检查,且在插针及移动电极过程中可能会导致肌肉损伤或局部出现炎症反应,所以在法医学鉴定中,针极肌电图有时并不能让被鉴定人完全接受。

等速肌力测试与训练技术也是目前肌肉功能测定的常用方法之一,该技术在肌肉力量测试和力量训练方面具有精准度高、不易受损伤、康复效率高等独特的优势。在进行等速肌力测试与训练过程中,肢体运动的速度恒定不变,外加阻力可以改变,测试与训练系统会随受试者用力的大小调节阻力,使肌肉张力增高,力矩输出增加,该技术可以评定关节活动在任意位置上的肌力情况<sup>[23]</sup>。1978年,LESMESS等<sup>[24]</sup>首先报道了在等速训练中肌肉力量可以发生变化,认为通过等速训练可以帮助锻炼肌肉功能。1983年,WATKINS等<sup>[25]</sup>报道了等速肌力测试在体育科学中的应用价值。1993年,STEINER等<sup>[26]</sup>研究报道了等速测试在膝关节屈伸肌肉功能测定中的可靠性。2013年,黄婷婷等<sup>[27]</sup>报道了等速肌力测试在法医学鉴定中的应用,认为等速测试技术可以用于法医学肌肉功能评估。但等速肌力运用于法医学鉴定,部分依赖于被鉴定人的配合程度,这需要检查者具备足够的检测经验判断被鉴定人是否配合检测以及凭借经验设计一套适合法医学鉴定的等速肌力检测方法。

表面肌电图是指神经肌肉系统在进行随意性和非随意性活动时的生物电变化经表面电极引导、放大、显示和记录所获得的一组电压时间序列信号,其与肌肉的活动状态和功能状态之间存在着不同程度的关联性,因而能在一定程度上反映神经肌肉的活动。1962年,VON EIFF等<sup>[28]</sup>报道了表面肌电图在内科临床中的诊断价值。1996年,SHERWOOD等<sup>[29]</sup>报道了表面肌电技术在外伤性脊髓损伤中的评估应用。2014年,程冬梅等<sup>[30]</sup>指出表面肌电诊断技术的更新与

其他相关设备的联合使用将在法医学鉴定工作中受到重视。尽管表面肌电图具有无创性,受被鉴定人的主观影响程度也很小,但皮下脂肪厚度、体温变化、电极走向、皮肤电阻等都是极易影响分析结果的因素,且有些因素检查者并不能控制<sup>[31]</sup>。

### 3.2 平衡功能测定

平衡是指在不同的环境和情况下维持身体直立姿势的能力,平衡功能测定方法包括 Romberg 法、强化 Romberg 法、量表评定法、姿势平衡仪测试法等<sup>[32]</sup>。Romberg 法是 1851 年由 Romberg 制定的闭目直立测定平衡功能的方法,受检者双足并拢直立,闭目,两臂前举,以观察躯干有无倾倒发生。强化 Romberg 法是指受检者双足一前一后、足尖接足跟直立,其目的是观察受检者睁眼、闭眼时身体的摇摆情况。量表评定法具有半定量性质,使用量表对受检者进行评分,易于量化,便于对照,因使用便捷在临床上备受推崇。姿势平衡仪测试法包括静态和动态平衡测定两种方法,静态平衡测试检测时受检者以 Romberg 姿势站立于支撑面上,压力传感器将足底变化的重心转化为电信号,计算机自动记录人体直立时足底压力中心变化轨迹的各种参数,并进行分析和评定;动态平衡测试检测时要求被检者以躯体反应跟踪出现在显示器上的视觉目标,在被检者无意识的状态下,支撑面移动或显示器及支架突然摇动,测试上述情况下被测试者的平衡功能,了解机体感觉和运动器官对外界环境变化的反应能力及大脑感知觉的综合能力等。1990 年, HASAN 等<sup>[33]</sup>报道了在平衡测试仪监测下的不同步态对平衡功能的影响,认为在闭目、睁目平衡测试中,平衡功能的改变与单、双腿测试有着明显的相关性,且运动速率也有所不同。2000 年, HAAS 等<sup>[34]</sup>认为平衡测试仪在人体对称性测试方面提供了有效的方法,但在姿势稳定性测试方面并没有显著效能。2010 年, SAYENKO 等<sup>[35]</sup>报道了平衡功能测试仪在不完全性脊髓损伤患者的双下肢平衡功能测试中有着积极的效果。2015 年,程冬梅等<sup>[36]</sup>指出可以在测量关节活动度的基础上,通过分析被鉴定人的平衡功能来综合评定下肢损伤后的肢体功能。同样,在法医学鉴定中,平衡功能测试也部分依赖于被鉴定人的配合程度,该检查手段对检查者的经验具有较高的要求。

### 3.3 三维运动捕捉与分析技术

三维运动捕捉与分析技术通过设定标记点位置,运用红外线感应标记点实时动态采集数据,并对数据进行整理和分析。该技术可以通过受试者身上的标记物来捕捉人体运动的轨迹,通过相应的软件精确输出运动时间、运动速度、加速度、各方向的关节角位移及

角速度等相关运动学参数。

三维运动捕捉与分析技术长期以来应用于游戏软件开发、3D 影视制作、体育运动等领域,近年来在医学领域也逐渐被开展并推广,尤其在康复医学研究领域比较常见。2006 年 BAKER<sup>[37]</sup>在步态生物力学研究中比较了多种分析技术,并肯定了三维运动捕捉与分析技术的重要作用,BAKER 的研究代表了当时步态分析研究的先进水平。三维运动分析技术在平衡功能方面的评价也日趋成熟。NEWTON 等<sup>[38]</sup>率先利用三维运动分析技术研究了站位下平衡功能,证实了该技术的可靠性。2009 年 GULLSTRAND 等<sup>[39]</sup>采用三维运动分析技术中的节段法检测人体质心或重心的位置变化和轨迹,从而评定人体平衡功能。国内学者王尹芝等<sup>[40]</sup>在评估人体静态平衡的研究中又有了新突破,其利用三维运动捕捉与分析技术动态测量最大重心-压力中心倾角并进行分析,绘制了最大重心-压力中心倾角与平衡功能衰退之间的关系,有望为临床静态平衡提供一种新的评价指标。此外,在日常功能活动中,三维运动分析技术已应用于坐站转移、上下楼梯、步行速度、突然滑倒、跨越障碍物等的功能评价,也在脊柱功能不稳、下肢肌力减弱及脑卒中患者的平衡功能评价中起到重要作用<sup>[41-43]</sup>。到目前为止,在法医学鉴定领域,我们可以借鉴三维运动分析在其他领域的研究成果,将三维运动分析技术与日常活动动作相结合,动态监测肢体各关节协同运动,客观评估各关节在肢体功能中的作用。

## 4 展 望

人体下肢功能的评价涉及多种指标,每种指标又包含多种测定方法,客观研究各指标不同测定方法的优缺点及各指标在目前法医学下肢残损功能评定中的地位尤为重要。近年来,随着研究的深入,学者对下肢残损功能评价的技术方法认识更加全面,但下肢残损功能综合评价机制尚不十分清楚,需要在以后研究中深入探索,使法医学下肢残损功能评价更为客观准确。

### 参考文献:

- [1] COURTNEY-LONG E A, CARROLL D D, ZHANG Q C, et al. Prevalence of disability and disability type among adults--United States, 2013[J]. MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2015, 64(29):777-783.
- [2] BEDIGREW K M, PATZKOWSKI J C, WILKEN J M, et al. Can an integrated orthotic and rehabilitation program decrease pain and improve function after lower extremity trauma?[J]. Clin Orthop Relat Res, 2014, 472(10):3017-3025.

- [3] DAHL T H. International classification of functioning, disability and health: an introduction and discussion of its potential impact on rehabilitation services and research[J]. *J Rehabil Med*,2002,34(5):201-204.
- [4] RONDINELLI R D. Guides to the evaluation of permanent impairment[M]. 6th ed. Chicago, US: American Medical Association,2007.
- [5] TALMAGE J B, MARTIN D W. Reliability of the AMA guides to the evaluation of permanent impairment and commentary[J]. *J Occup Environ Med*,2011,53(4):345.
- [6] SOOD A. Performing a lung disability evaluation: how, when, and why?[J]. *J Occup Environ Med*,2014,56(S10):23-29.
- [7] GUTHRIE R. Compensation: problems with the concept of disability and the use of American Medical Association Guides[J]. *J Law Med*,2001,9(2):185-199.
- [8] COLLEDGE A, HUNTER B, BUNKALL L D, et al. Impairment rating ambiguity in the United States: the Utah Impairment Guides for calculating workers' compensation impairments[J]. *J Korean Med Sci*,2009,24(S2):232-241.
- [9] GHAZANFARI-NASRABAD M, AMROLLAHI-SHARIFABADI M, KARGAR-BIDEH O, et al. Permanent ocular injury following paintball pellet hit: A medicolegal case[J]. *J Forensic Sci*,2016,61(1):277-279.
- [10] BUSHNIK T. Sickness Impact Profile[M]. New York: Springer,2011:2296.
- [11] GLADSTONE D J, DANELLS C J, BLACK S E. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties[J]. *Neurorehabil Neural Repair*,2002,16(3):232-240.
- [12] CRUZ-DÍAZ D, LOMAS-VEGA R, OSUNA-PÉREZ M C, et al. The Spanish lower extremity functional scale: a reliable, valid and responsive questionnaire to assess musculoskeletal disorders in the lower extremity[J]. *Disabil Rehabil*,2014,36(23):2005-2011.
- [13] BUSSE M E, HUGHES G, WILES C M, et al. Use of hand-held dynamometry in the evaluation of lower limb muscle strength in people with Huntington's disease[J]. *J Neurol*,2008,255(10):1534-1540.
- [14] MOKKINK L B, KNOL D L, UITDEHAAG B M. Factor structure of Guy's Neurological Disability Scale in a sample of Dutch patients with multiple sclerosis[J]. *Mult Scler*,2011,17(12):1498-1503.
- [15] KIM H C, KIM J S, LEE K H, et al. Development of Korean Academy of Medical Sciences Guideline rating the physical impairment: lower extremities[J]. *J Korean Med Sci*,2009,24(S2):299-306.
- [16] NOMOTO Y, ONISHI Y, OHYA T, et al. Evaluation of lower limb function of age change by using principal component estimation[C]// The 15th International Conference on Biomedical Engineering. Switzerland: Springer International Publishing,2014: 730-733.
- [17] 付新朋,钟建国,钱珊,等. “三三三一”评价原则对卒中后偏瘫下肢步行功能的预后判定[J]. *生物技术世界*,2016(5):101,103.
- [18] WEDDELL G. Electromyography in clinical medicine[J]. *Proc R Soc Med*,1943,36(10):513-514.
- [19] MANN R A, MORAN G T, DOUGHERTY S E. Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running, and sprinting[J]. *Am J Sports Med*,1986,14(6):501-510.
- [20] CIPRIANI D J, ARMSTRONG C W, GAUL S. Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*,1995,22(3):95-102.
- [21] SAKAMOTO K, SWIE Y W. EMG characteristics of low back and lower limb muscles during forward bending posture[J]. *Electromyogr Clin Neurophysiol*,2003,43(6):335-347.
- [22] 夏晴,高东,朱广友,等. 针极肌电图与神经传导检测的法医学应用[J]. *法医学杂志*,2012,28(4):275-277.
- [23] 马明,张世民. 颈部肌力和软组织刚度测试的研究进展[J]. *中国骨伤*,2015,28(8):771-775.
- [24] LESMES G R, COSTILL D L, COYLE E F, et al. Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training[J]. *Med Sci Sports*,1978,10(4):266-269.
- [25] WATKINS M P, HARRIS B A. Evaluation of isokinetic muscle performance[J]. *Clin Sports Med*,1983,2(1):37-53.
- [26] STEINER L A, HARRIS B A, KREBS D E. Reliability of eccentric isokinetic knee flexion and extension measurements[J]. *Arch Phys Med Rehabil*,1993,74(12):1327-1335.
- [27] 黄婷婷,范利华,高东,等. 等速肌力测试与训练技术在肌肉功能评定中的研究进展[J]. *法医学杂志*,2013,29(1):49-52.
- [28] VON EIFF A, JESDINSKY H J, JOERGENS H. Surface electromyography in internal medicine[J]. *Munch Med Wochenschr*,1962,104:789-794.
- [29] SHERWOOD A M, MCKAY W B, DIMITRIJEVIC M R. Motor control after spinal cord injury: assessment using surface EMG[J]. *Muscle Nerve*,1996,19(8):966-979.
- [30] 程冬梅,周晓蓉,范利华. 表面肌电在肢体肌肉功能评估中的应用及研究进展[J]. *中国司法鉴定*,2014(3):43-46.
- [31] BRODY L R, POLLOCK M T, ROY S H, et al. pH-

- induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal[J]. *J Appl Physiol*, 1991,71(5):1878-1885.
- [32] AKKAYA N, DOGANLAR N, ÇELİK E, et al. Test-retest reliability of Tetrax® Static Posturography system in young adults with low physical activity level[J]. *Int J Sports Phys Ther*, 2015, 10(6):893-900.
- [33] HASAN S S, LICHTENSTEIN M J, SHIAMI R G. Effect of loss of balance on biomechanics platform measures of sway: influence of stance and a method for adjustment[J]. *J Biomech*, 1990, 23(8):783-789.
- [34] HAAS B M, BURDEN A M. Validity of weight distribution and sway measurements of the Balance Performance Monitor[J]. *Physiother Res Int*, 2000, 5(1): 19-32.
- [35] SAYENKO D G, ALEKHINA M I, MASANI K, et al. Positive effect of balance training with visual feedback on standing balance abilities in people with incomplete spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2010, 48(12):886-893.
- [36] 程冬梅, 邵黎明, 范利华, 等. 下肢损伤者姿势诱发反射下的动态姿势图分析[J]. *法医学杂志*, 2015, 31(6): 425-427, 431.
- [37] BAKER R. Gait analysis methods in rehabilitation[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2006, 3:4.
- [38] NEWTON R U, NEAL R J. Three-dimensional quantification of human standing posture[J]. *Gait Posture*, 1994, 2(4):205-212.
- [39] GULLSTRAND L, HALVORSEN K, TINMARK F, et al. Measurements of vertical displacement in running, a methodological comparison[J]. *Gait Posture*, 2009, 30(1):71-75.
- [40] 王尹芝, 顾冬云, 戴魁戎. 最大重心-压力中心倾角法评估不同年龄人群静态平衡的研究[J]. *中国康复理论与实践*, 2015, 21(8):967-973.
- [41] HAN S, CHENG G, XU P. Three-dimensional lower extremity kinematics of Chinese during activities of daily living[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2015, 28(2):327-334.
- [42] LABORDE A, CAILLET F, EYSSETTE M, et al. 3D preliminary analysis gait in stroke patients: knee flexion in compensatory strategies[J]. *Ann Readapt Med Phys*, 2003, 46(3):132-137.
- [43] DŁUGOSZ M M, PANEK D, MACIEJASZ P, et al. An improved kinematic model of the spine for three-dimensional motion analysis in the Vicon system[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2012, 176:227-231.

(收稿日期:2017-04-10)

(本文编辑:高 东)