

# 运动捕捉摇拔戳手法治疗踝扭伤运动轨迹相关问题研究

李建国<sup>1,2</sup> 高春雨<sup>1,2</sup> 冯敏山<sup>1,2</sup> 叶宜颖<sup>1,2</sup> 刘广伟<sup>1,2</sup>  
李路广<sup>1,2</sup> 孟州令<sup>1,2</sup> 张学思<sup>1,2</sup> 高景华<sup>1,2△</sup>

**[摘要]** 目的:探讨运动捕捉技术在踝部手法量化领域应用成功的关键点。方法:2017 年 6 月至 2018 年 1 月从中国中医科学院望京医院骨科门诊收集 30 位外踝关节扭伤且无手法禁忌症的患者,男 20 例,女 10 例;年龄 18~47 岁,平均(27.76±6.14)岁;并选取 1 位临床经验丰富且手法操作娴熟的医师。前期试验按照运动捕捉系统预设的方案在医师双手及患者患踝表面粘贴 Marker 点,后期试验按照调整后的方案粘贴 Marker 点,然后通过数字运动捕捉镜头对医师向患者患踝施行摇拔戳手法操作过程进行动态拍摄,得到由运动捕捉系统保存、记录和描记的动态运动轨迹图。结果:前期试验得到的操作者双手及患者患踝运动轨迹繁多而杂乱,且轨迹存在中断,无法进行后续的数据的提取。后期试验得到的运动轨迹简洁且连续,并据此可提取出手法操作时间及最大位移数据。结论:Marker 点的数量及位置的选择、Marker 点粘贴的牢固性、相机的位置调整是运动捕捉技术在踝部手法量化领域应用成功的关键点。

**[关键词]** 运动捕捉;摇拔戳手法;踝扭伤;运动轨迹

**[中图分类号]** R684.7 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2018)09-0019-04

## A Study on the Related Problems of Moving Track of Ankle Sprain Treated by Shaking Drawing and Stabbing Manipulation with Motion Capture Technique

LI Jianguo<sup>1,2</sup> GAO Chunyu<sup>1,2</sup> FENG Minshan<sup>1,2</sup> YE Yiyi<sup>1,2</sup> LIU Guangwei<sup>1,2</sup>  
LI Luguang<sup>1,2</sup> MENG Zhouling<sup>1,2</sup> ZHANG Xuesi<sup>1,2</sup> GAO Jinghua<sup>1,2△</sup>

<sup>1</sup> Department of the Second Spinal Orthopedics, Wangjing Hospital of China Academy of Traditional Chinese Medicine Sciences, Beijing 100102, China;

<sup>2</sup> Beijing Key Laboratory of Traditional Chinese Orthopedics and Traumatology, Beijing 100102, China.

**Abstract Objective:** To discuss the key points of successful application of motion capture technology in the area of ankle manipulation quantification. **Methods:** From June 2017 to January 2018, 30 patients (20 males, 10 females, aged 18~47 years, average 27.76±6.14 years) with sprained lateral ankle and no manual contraindications were collected from the orthopedic clinic of Wangjing hospital, and a doctor with rich clinical experience and skilled manual operation was selected. Prophase trials were performed by pasting Marker points on both the doctor's hands and the patient's ankle in accordance with the pre-designed program of the motion capture system, pasting Marker point according to adjusted scheme in the later trials. The operation process of the manipulation of shaking, drawing and stabbing was photographed by the digital motion capture lens, and the dynamic motion trace graphs were preserved, recorded and traced by motion capture system. **Results:** The motion contrail of doctor's hands and patient's ankle in the prophase trials was various, disorderly and discontinuous, so the subsequent data could not be extracted. The motion contrail obtained from the later trial was concise and continuous, and the manipulation time and the maximum displacement data could be extracted from it. **Conclusion:** The number and location of Marker points, the firmness of Marker points paste and the position of cameras are the key points of successful application of motion capture technology in the area of ankle manipulation quantification.

**Keywords:** motion capture; manipulation of shaking, drawing and stabbing; ankle sprain; motion contrail

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81473694)

<sup>1</sup> 中国中医科学院望京医院脊柱二科(北京,100102)

<sup>2</sup> 中医正骨技术北京市重点实验室

△通信作者 E-mail:gaojinghua64@sina.com

手法是中医骨伤学科的一大特色,也是传统医学发展的一大优势,因此,继承及发扬这些临床行之有效的技法就变得尤为重要。推拿学发展趋势是逐步从单纯经验化模式走向量化、客观化、数字化、精确化模式,从而使推拿医师能够控制手法的力度、频率、时间、位移、角度、动作形态等参数<sup>[1]</sup>。力求对手法有一个统一的客观量化标准<sup>[2]</sup>。运动捕捉是量化手法的主要技术之一,运动捕捉数据的精确度直接关系到后续运动学与反向动力学计算结果的准确性,所以能否采集到高精度的运动数据是该领域研究的前提<sup>[3]</sup>。但是由于操作经验欠缺、对运动捕捉操作的关键点把握不够等原因,会使得试验结果误差加大,造成试验失败。Gløersen等<sup>[4]</sup>认为 Marker 点的脱落与遮挡是造成运动捕捉数据丢失的常见原因,也很难完全避免。本研究在量化摇拨戳手法的过程中,发现总结了通过运动捕捉技术获取摇拨戳手法治疗踝关节扭伤运动轨迹的相关问题,同时进行了探讨。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

2017年6月至2018年1月从中国中医科学院望京医院骨科门诊收集30位外踝关节扭伤且无手法禁忌症的患者:其中男20例,女10例;年龄18~47岁,平均 $(27.76 \pm 6.14)$ 岁;并选取1位临床经验丰富且手法操作娴熟的医师。试验前患者签署知情同意书。

### 1.2 诊断标准

根据中华人民共和国中医药行业标准《中医病证诊断疗效标准》(1994年)制定:1)有明确的踝部外伤史;2)扭伤后踝关节外侧即出现疼痛,局部肿胀,皮下瘀斑,伴跛行;3)局部压痛明显,将足作内翻动作时,外踝前下方剧痛;4)关节活动受限;5)X线片检查未见骨折、脱位。

### 1.3 纳入标准

1)年龄在15~60岁之间;2)符合上述诊断标准;3)MRI显示踝关节韧带未完全断裂。

### 1.4 排除标准

1)不符合纳入标准;2)脊柱感染、创伤骨折、肿瘤、结核、骨质疏松、强直性脊柱炎等;3)合并严重心、脑血管疾病、肝肾和造血系统、内分泌系统疾病;4)精神疾病或老年痴呆;5)局部有皮肤破损或皮肤病。

### 1.5 试验设备及软件

**1.5.1 试验设备** 1)14个固定高速红外光点运动捕捉镜头(Optitrack公司,型号Prime13,像素130万)组成的测量空间;2)6个可移动运动捕捉镜头(Optitrack公司,型号Prime13,像素410万)围绕场地;3)紧身衣、Marker点。

**1.5.2 试验软件** Motive;Body1.10.1 Final 软件。

### 1.6 方法

**1.6.1 患者及助手准备** 于试验场地中央放置1张治疗床,患者取健侧卧位,伤肢在上。助手站于患者一侧,双手环抱患者伤肢小腿。

**1.6.2 Marker点固定** 手法操作者及患者穿戴紧身衣,将Marker点分别固定于操作者双手及患者患肢紧身衣表面。在2017年6月至2018年1月期间共进行了两次试验,前期试验及后期试验Marker点固定的方案如下。

前期试验中操作者手及患者患肢Marker点位置的设定遵照Motive;Body1.10.1 Final软件系统预设的方案(见图1-4)。Marker点的粘贴方式为魔术贴粘附。前期试验Body1.10.1 Final软件中Fingers方案:操作者手(左右各6个)Marker点位置,尺骨茎突,第1指间关节,第2掌指关节,第2近侧指间关节,第2掌指关节,第5近侧指间关节。前期试验Body1.10.1 Final软件中Lower Body方案:受试者患肢(6个)Marker点位置,胫骨下端,外踝尖,跟骨结节,第5跖趾关节,第1跖趾关节,第3趾端。

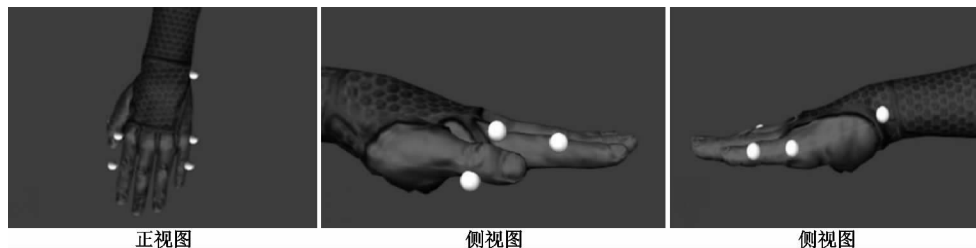


图1 Motive;Body1.10.0 Final 软件中 Fingers 方案



图2 按图1固定的试验现场图  
(双手戴紧身手套,表面  
粘贴 Marker 点)

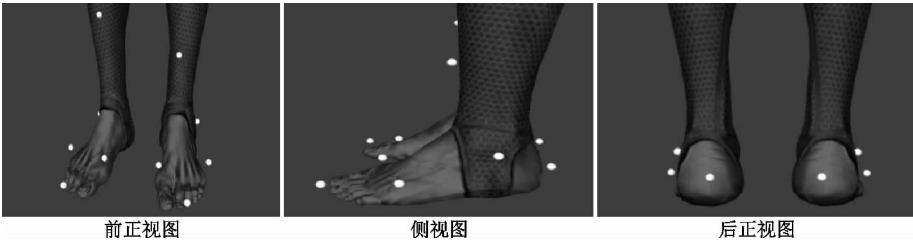


图 3 Motive:Body1. 10. 1 Final 软件中 Lower Body 方案



图 4 按图 3 固定的试验现场图(患者患肢穿紧身衣,表面固定 Marker 点)

后期试验结合手法操作及场地情况,在不影响试验结果又便于操作的前提下调整原方案,去掉患者患踝 Marker 点,同时舍去操作者双手部分 Marker 点。Marker 点的粘贴方式换为医用胶带粘贴,见图 5。后期试验 Marker 点设定的新方案:操作者双手(6 个) Marker 点位置,第一掌指关节桡侧各 1 点,第二掌指关节桡侧各 1 点,第二指近侧指间关节桡侧各 1 点。

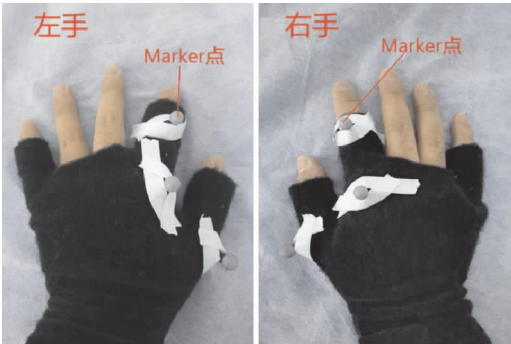


图 5 后期试验左、右手 Marker 点设定的新方案试验现场图

1. 6. 3 手法操作及运动捕捉 进行手法操作前,术者站于试验场地中央,两上臂平直伸展进行系统标定,并

微动其中一只手进行左右手标定。然后操作者对患者进行规范的摇拔戳手法操作,每位患者共操作 2 遍。手法操作方法遵循孙树椿教授制定的规范标准<sup>[5]</sup>:1)患者侧卧,伤肢在上,助手握住伤侧小腿近端,勿使摇动。2)医者两虎口相对,双手拇指按住外踝缝,余四指拿住伤足,将足环转摇晃 6 次。3)医者与助手相对拔伸,并将足跖屈内翻。4)再将足背伸外翻,双手拇指同时向下戳按。5)再用揉捻法,按摩舒筋。其过程通过数字运动捕捉镜头动态拍摄,并将各 Marker 点动态运动轨迹保存下来。

1. 7 数据分析

本试验采用 OptiTrack 公司开发的 Motive Body1. 10. 1Final 软件实时记录手法操作运动轨迹,并进行描记分析。

2 结果

前期试验及后期试验调整方案后手法操作的运动轨迹图分别见图 6-7,计算得到的手法操作各环节的时间及最大角度见表 4-5。

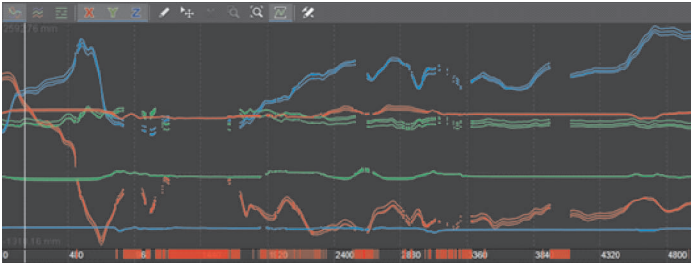


图 6 前期试验方案下的手法运动轨迹图

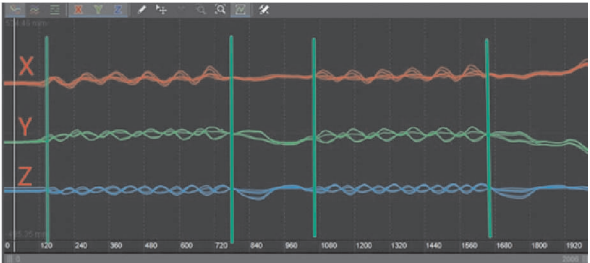


图 7 后期试验方案调整后的手法运动轨迹图

表 4 根据图 7 计算出的手法操作各环节的时间

操作名称	第 1 次摇法	第 2 次摇法	第 1 次拔伸戳按	第 2 次拔伸戳按
时间(s)	10.933 330	10.216 670	4.016 667	4.533 333

表 5 根据图 7 计算出的手法操作各环节的最大角度

操作名称	第 1 次拔伸	第 2 次拔伸	第 1 次戳按	第 2 次戳按
最大角度(°)	28.290 07	28.506 21	37.980 78	39.902 74

本试验需要借助运动轨迹计算手法操作的时间、最大角度,运动轨迹的连续性是分析的基础。从图 6 可以看出操作者双手及患者患踝运动轨迹繁多而杂乱,且轨迹存在中断,提示数据严重丢失,无法进行后续的数据的提取。相比图 6,图 7 的运动轨迹则简洁

且连续,可以作为试验数据提取的基础。表 4-5 为根据图 7 提取的手法操作时间及最大位移数据。

3 讨论

运动捕捉技术是由心理学家 Johansson 于 1970 年代末在 Moving Light Display 试验中提出的<sup>[6]</sup>。运

动捕捉技术是生物力学研究中常用的工具,而且此项技术被证明有助于理解人类复杂的运动<sup>[7]</sup>。人体的动作可以看成是人体各个关节点的动作,在运动捕捉系统中,一般把人体看成是由13~19个关节点组成的简单模型。进行运动捕捉时,首先要在人体的各个关节点上粘贴固定一个特殊的反光材料,称为标记点(Marker点),这些反光材料可以被摄像机所追踪。通过运动捕捉系统将标记点的轨迹与关节运动相关联,可以得到一个特定的点随时间变化的连续运动轨迹,然后通过三维重建技术将这些点的运动轨迹还原为骨架模型的动作<sup>[8]</sup>。运动捕捉技术在足踝领域主要用于步态的分析<sup>[9-11]</sup>。在手法量化领域,此技术主要集中于上肢、颈椎及腰椎相关手法的研究中<sup>[12]</sup>,涉及下肢相关手法量化的研究较少。

本试验在通过运动捕捉技术获取摇拨戳手法运动轨迹的过程中,前期获取运动轨迹不理想(图6所示)的原因有如下3点:1)Marker点数量过多:摇拨戳手法操作各环节的运动幅度较小且为复合运动,当操作者双手及受试者患肢固定的Marker点数量过多时,容易造成各Marker点之间近距离干扰。2)Marker点固定位置不合适:在手法操作的过程中,操作者双手与受试者患肢会遮挡部分Marker点,导致Marker点无法被相机捕捉到,这部分Marker点的位置便需要调整。3)Marker点的稳定性:前期主要通过魔术贴对Marker点进行固定,但其粘度不强,固定的牢固性较差。另外,在操作过程中,双手及患肢的魔术贴之间会相互碰撞粘贴,影响手法操作的连贯性。

基于本试验的得失,试验组成员总结了运动捕捉技术获取手法运动轨迹成功的关键点如下:1)Marker点位置、数量的选择:运动捕捉数据的精确度直接关系到后续运动学与反向动力学计算结果的准确性,所以能否采集到高精度的运动数据是该领域研究的前提<sup>[3]</sup>。Marker点位置的不合适及数量的多少会造成Marker点的遮挡及丢失,这是导致运动捕捉失败的常见原因<sup>[7]</sup>。由于手法操作的繁杂性及多数手法为首次基于运动捕捉技术进行运动学研究,故前期关于Marker点位置、数量的方案探讨几乎为空白,使得在进行相关试验时无据可依,需要根据研究目的多次进行Marker点位置的调整与数量的取舍。冼思彤等<sup>[13]</sup>在分析掌振法运动轨迹时,发现Marker点标记比较密集,容易造成跳点导致数据间断,后期试验依次在单一关节(掌指关节/指间关节)或单一手指标记Marker点,在保证数据连续性的基础上缩短观察时间。Mijailovic等<sup>[14]</sup>在采用动作捕捉及传感器分析膝关节软骨压力的分布及软骨形变研究中,将Marker点固定于下肢骨性标志处,Marker点随人体皮肤的移

动会使得试验结果存在误差,但相比于将Marker点固定于皮肤丰厚处,前者的误差更小。本试验是为了分析摇拨戳手法的运动轨迹,且患踝的Marker点会形成干扰,故撤去患踝的Marker点,同时减少了操作者双手的Marker点数量,这有效地避免了其相互干扰,减少了数据的丢失及被遮挡的几率,保证了后续数据分析的可行性。同时本试验Marker点的标记位置也是以骨性标志为主,易于准确定位,减少人体皮肤移动因素对试验结果的影响。2)Marker点的粘贴方案选择:人体不同于其他机械非生命体,由于肢体的肌肉和脂肪为非刚性结构,所以在人体表面贴Marker点有很大的难度<sup>[15]</sup>。王洪生等<sup>[3]</sup>认为Marker点粘贴需保证牢固性、易拆性、稳定性和安全性,介绍了一种基于人体多刚体的虚拟Marker方法,大大减少了在运动捕捉试验中粘贴Marker点的工作量。本试验后期换用医用胶带固定Marker点,减少了手法操作过程中其脱落的几率,但此方案后期仍需改进。3)相机的位置调整:在运动捕捉过程中,由于Marker点位置的视野度或者相机接受的光照强度等环境因素不良,使得Marker点无法完全地被相机捕捉到。通过Kalman滤波或者调整相机位置及投射角度可以提高运动捕捉系统的精确度<sup>[16,17]</sup>。本试验采用14个固定高速红外光点运动捕捉镜头结合6个可移动运动捕捉镜头,可随时调整相机位置,保证了运动轨迹的完整性。

综上所述,运动捕捉技术是量化手法的主要技术之一,可以对手法过程中的时间、位移、角度等参数进行量化,轨迹的完整性是量化分析的基础。本试验通过运动捕捉技术获取摇拨戳手法运动轨迹的过程中,发现轨迹的丢失问题,进而探讨了运动捕捉技术在踝部手法量化领域应用成功的关键点:即Marker点的数量、位置的选择,Marker点粘贴的牢固性,相机的位置调整。希望能够为进一步分析下肢相关手法运动轨迹及运用运动捕捉技术量化手法参数提供经验。

## 参考文献

- [1] 刘昱材,吕晶,李进龙.推拿手法量化及参数研究微探[J].中华中医药杂志,2017,32(3):1191-1193.
- [2] 王继红,林天珍.浅论手法的量化操作[J].按摩与导引,2004,20(4):2-3.
- [3] 王洪生,白雪岭,张希安,等.一种基于刚体的虚拟Marker人体步态测量[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(30):5833-5836.
- [4] Gløersen Ø, Federolf P. Predicting missing marker trajectories in human motion data using marker intercorrelations[J]. Plos One, 2016, 11(3):1-14.

- [5] 孙树椿. 实用推拿手法操作图谱[M]. 北京:中国医药科技出版社,1988;114-115.
- [6] Johansson G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis[J]. Perception & Psychophysics, 1973,14(2):201-211.
- [7] Burke M,Lasenby J. Estimating missing marker positions using low dimensional Kalman smoothing[J]. Biomech, 2016,49(9):1854-1858.
- [8] 吴腾飞,吴晓明,胡丹,等. 基于光学运动捕捉系统的肩关节运动学分析研究进展[J]. 中华肩肘外科电子杂志, 2016,4(4):248-250.
- [9] Schmid S,Studer D,Hasler CC,et al. Quantifying spinal gait kinematics using an enhanced optical motion capture approach in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Gait Posture,2016,44(1):231-237.
- [10] Lamine H,Bennour S,Laribi M. Evaluation of calibrated kinect gait kinematics using a vicon motion capture system [J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2017, 20 (sup1):111-112.
- [11] Rucco R,Agosti V,Jacini F,et al. Spatio-temporal and kinematic gait analysis in patients with Frontotemporal dementia and Alzheimer's disease through 3D motion capture[J]. Gait Posture,2017,52:312-317.
- [12] 黄法森,张清,王海洋,等. 运动捕捉技术在推拿手法生物力学研究中的应用[J]. 中医正骨,2017,29(11):41-43.
- [13] 洗思彤,于天源,刘卉,等. 掌振法运动轨迹的生物力学分析[J]. 中国康复医学杂志,2016,31(10):1084-1087.
- [14] Mijailovic N,Vulovic R,Milankovic I,et al. Assessment of knee cartilage stress distribution and deformation using motion capture system and wearable sensors for force ratio detection[J]. Computational and Mathematical Methods in Medicine,2015:963746.
- [15] Cerveri P,Pedotti A,Ferrigno G. Kinematical models to reduce the effect of skin artifacts on marker-based human motion estimation[J]. Journal of Biomechanics, 2005, 38 (11):2228-2236.
- [16] Schwartz C,Denoël V,Forthomme B,et al. Merging multi-camera data to reduce motion analysis instrumental errors using Kalman filters[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin,2015,18(9):952-960.
- [17] Kuxhaus L,Schimoler PJ,Vipperman JS,et al. Effects of camera switching on fine accuracy in a motion capture system[J]. J Biomech Eng,2009,131(1):014502.

(收稿日期:2018-04-14)