

· 综 述 ·

# 运动捕捉技术在推拿手法生物力学研究中的应用

黄法森, 张清, 王海洋, 王林, 孙长贺, 殷京

(中国中医科学院望京医院, 北京 100102)

**摘 要** 推拿手法是临床常用的治疗方法, 但缺乏简单、直观、可视化程度高的研究方法。同一手法的操作形式多种多样, 效果参差不齐。运动捕捉技术能够追踪标记物体在三维空间的运动轨迹, 通过收集、记录、测量物体的运动学和生物力学参数, 对其运动规律进行分析。该技术的出现使得将手法操作中作用力的大小、方向、时间、速度等要素定量化成为现实, 也使对推拿手法的研究从主观化、经验化转向规范化、可视化、客观化, 为推拿手法的临床推广和传承奠定了极为重要的基础。

**关键词** 推拿; 手法; 骨科; 运动捕捉技术; 生物力学; 综述

人体是一个复杂精细的系统, 有着其他任何生物机械无法比拟的精细性与协调性, 这也使获得人体运动参数变得极为困难。随着科学技术水平的进步, 利用生物力学技术对人体运动或者运动过程中的详细力学信息进行研究, 将试验测量和理论结合, 使得获取人体的各种运动参数变得相对简单。运动捕捉技术在国内也称动作捕捉技术, 是指一个通过在时域上跟踪一些关键点的运动来记录生物运动, 然后将其转换成可用的数学表达并合成一个单独的 3D 运动的过程<sup>[1]</sup>。运动捕捉技术目前已被广泛用于人体骨骼等系统的生理、病理等的生物力学研究中。推拿手法是临床常用且有效的治疗方法之一, 但其中很多手法缺乏简单、直观、可视化程度高的研究方法, 大多数临床医师仅凭个人经验掌握手法操作的方向、力度、时间等要素, 造成同一手法操作多种多样, 效果参差不齐。运动捕捉技术的出现使得将手法操作中的作用力大小、方向、时间、速度等要素定量化成为现实, 也为手法操作的规范化奠定了基础。本文就运动捕捉技术在推拿手法生物力学领域的研究进展作一综述, 现总结报告如下。

## 1 运动捕捉技术概述

运动捕捉技术是由心理学家 Johansson 于 20 世纪 70 年代末在 Moving Light Display 实验中提出的<sup>[2]</sup>。随后该技术不断发展完善, 逐渐被应用于多个领域。运动捕捉技术的种类较多, 可按照实时性、部位、应用角度、工作原理等进行分类。目前较为常用

的分类方法是根据工作原理来分类, 可分为机械式运动捕捉、电磁式运动捕捉、声学式运动捕捉、光学式运动捕捉和基于视频的运动捕捉 5 种。其中光学式运动捕捉系统是通过高分辨率红外摄像机, 高速捕捉研究对象表面的关键点的运动信息, 并经过实时或后期处理, 可以准确得到研究对象的数字化运动轨迹。凭借其灵活、高效的优势, 目前运动捕捉系统已经在生物力学、人体工程学、模拟训练等领域的研究中得到应用<sup>[3-4]</sup>。

运动捕捉技术能够追踪标记物体在三维空间的运动轨迹, 通过收集、记录、测量物体的运动学和生物力学参数, 对其运动规律进行分析。运动捕捉系统在获取人体骨骼系统参数时, 人体通常被理解成由 15 ~ 20 个关节点组成<sup>[5]</sup>, 通过在受试者体表安放标记点, 捕捉受试者体表的标记点而测量人体在空间中的位置和运动方向, 这些运动信息经过实时或后期处理, 即可得到被描述对象的运动参数。这为深入研究手法操作的生物力学作用机制及评估手法的安全性提供了有利条件<sup>[6]</sup>。

## 2 运动捕捉技术在颈椎、上肢手法生物力学研究中的应用

郭鑫等<sup>[7]</sup>在对受试者施行颈椎拔伸牵引手法的过程中, 运用高速红外运动捕捉系统和测力台获得了术者手法治疗过程中的运动学和运动力学参数, 通过研究认为颈椎拔伸手法的运动学和运动力学参数有一定的规律性, 这对于该手法的临床推广和规范具有重要作用。冯敏山等<sup>[8]</sup>在对朱立国教授的颈椎旋提手法进行研究时, 应用动作捕捉技术进行动态捕捉记录, 获得了该手法实施过程中重要的运动力学和运动

学参数,并将得到的旋提手法操作运动轨迹通过动画视频形式展现出来,结果表明:颈椎旋提手法扳动方向主要是垂直向上,前提是颈部肌肉得到充分松解,扳动动作的要领为“速度快、幅度小”。Ryu 等<sup>[9]</sup>利用 3D 运动捕捉技术和压力传感器研究了按摩颈肩部(斜方肌、肩胛提肌和三角肌)时术者手部的压力模式和手指运动轨迹,结果表明:按摩过程中每一块肌肉都受到不同的压力,术者手指的运动轨迹也有不同,斜方肌比其他肌肉承受更大的压力、更长的按摩时间和更大的压力时间积分。邓真等<sup>[10]</sup>在研究石氏伤科颈椎整复手法过程中,通过对三维运动捕捉系统收集到的肩、肘、膝和踝关节的运动数据进行分析总结,认为在手法操作过程中术者下肢关节需要保持稳定,如果能利用同侧膝关节屈伸来协同上肢发力,能起到更好的效果。朱立国等<sup>[11]</sup>在对颈椎旋提手法进行研究时,运用在体力学技术获得手法操作的预加载力、最大作用力、扳动力等一系列数据,又采用运动捕捉系统获得该手法的操作运动轨迹和运动力学参数。经过分析后认为,左右手进行操作的作用力特征无明显差异,且颈椎旋提操作手法的差异性与体质指数有关;预加载力的大小与扳动力的大小之间存在相关性,随着预加载力的加大,扳动力也需要相应加大。耿楠等<sup>[12]</sup>在对颈椎定位旋转扳法的操作特征进行初步量化、客观化研究的过程中,运用运动捕捉测试系统采集手法操作过程中术者及受试者的运动学参数,结果显示:受试者在扳动相中前屈角度均值约 3.73°、侧屈角度均值约 0.5°、旋转角度均值约 10.2°、瞬间扳动时间约 0.101 6 s,认为该手法是一个综合颈椎的前屈、侧屈和旋转的过程。王平等<sup>[13]</sup>在对三维动态牵伸回旋法干预下冻结肩关节运动轨迹特征进行研究时,采用动作捕捉系统对盂肱关节的平均角速度、最大角速度、最大角加速度和冻结肩的幅度进行量化分析,结果表明:与跨躯体内收外旋法、外展内旋法相比,外展牵伸法干预下冻结肩盂肱关节的平均角速度、最大角速度、最大角加速度较小;当限制肱骨旋转的韧带紧张时,患侧肱骨旋转角度均在肱骨旋转可以达到的角度范围内。吕杰等<sup>[14]</sup>通过运动捕捉技术结合 FZ-1 型中医推拿手法测力分析仪研究了一指禅推法及揉法,收集了这 2 种手法操作过程中的运动学参数,并根据这些参数特征先后建立了 4 杆件、5 结点的一指禅推法生物力学模型和包括手部、尺骨及桡骨的揉法生物力学简单模型,同时计算出了手法操作

过程中各受力部位的作用力大小。

### 3 运动捕捉技术在腰椎手法生物力学研究中的应用

Triano 等<sup>[15]</sup>运用运动捕捉系统将手法操作时的预加载力、扳动时间和速度等力学参数进行了研究,提出了腰椎“高速低幅冲击手法”的力学参数。张军等<sup>[16]</sup>为探讨旋转手法对椎间盘的力学作用机制,通过 Motion 运动捕捉系统采集了 12 具腰椎间盘病理状态椎体左右旋转、屈伸、侧弯角度位移,结果表明旋转手法治疗腰椎间盘突出症的力学机制是脊柱的共轭运动,旋转手法对不同椎体作用力的效果不一致。王伟等<sup>[17]</sup>研究魏氏伤科手法“悬足压膝”和“腰部提拉”治疗腰椎间盘突出症的运动学规律和机制时,通过三维运动捕捉系统采集手法作用时受试者的运动学数据,计算髋关节、膝关节和踝关节的相对运动角度,以及各关节的屈曲(伸展)、外展(内收)、轴向旋转运动,计算得到了关节的平均运动角度和轨迹规律。在研究坐位腰椎旋转手法时,高春雨<sup>[18]</sup>采用动作捕捉技术得到了较详细的运动学参数,认为左右手进行坐位腰椎旋转手法操作时的预加载力、最大作用力、旋扳力等运动力学参数无明显差异,而且该手法操作过程中预加载力与旋扳力呈正相关。

### 4 小 结

总之,运动捕捉技术在推拿手法生物力学研究中的应用,解决了推拿手法运动学分析的难题,加快了推拿手法的生物力学研究进度。也使对推拿手法的研究从主观化、经验化转向规范化、可视化、客观化,为推拿手法的临床推广和传承奠定了极为重要的基础。

虽然运动捕捉技术目前已广泛应用于人体生物力学的研究当中,但该技术仍存在很多问题:①已有的研究样本量均较少,且未能严格遵照临床试验的基本原则,也未能控制好性别、年龄、种族、身高、体质量等非处理因素;②运动捕捉系统及数据分析采集系统较为复杂,高维数据处理速度慢,在建模、仿真和运动分析方面存在视角遮挡、皮肤标记移动误差等影响研究结果的因素<sup>[19]</sup>;③在复杂多样化的场景中会出现人与背景自动分离的问题,同时多人运动捕捉技术仍然不够完善<sup>[20]</sup>。但相信随着现代科技的发展,运动捕捉技术定会突破诸多局限,不断完善,解决更多推拿手法生物力学研究中的问题。

### 5 参考文献

[1] 黄波士,陈福民. 人体运动捕捉及运动控制的研究[J].

- 计算机工程与应用, 2005, 41(7): 60-63.
- [2] JOHANSSON G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis [J]. Perception & Psychophysics, 1973, 14(2): 201-211.
- [3] LIST R, POSTOLKA B, SCHÜTZ P, et al. A moving fluoroscope to capture tibiofemoral kinematics during complete cycles of free level and downhill walking as well as stair descent [J]. PLoS One, 2017, 12(10): e0185952.
- [4] BASKWILL AJ, BELL P, KELLEHER L. Evaluation of a gait assessment module using 3D motion capture technology [J]. Int J Ther Massage Bodywork, 2017, 10(1): 3-9.
- [5] 魏莱. 基于关节的人体动作识别及姿态分析研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- [6] 王辉昊, 詹红生, 张明才, 等. 手法治疗颈椎病意外事件分析与预防策略思考 [J]. 中国骨伤, 2012, 25(9): 730-736.
- [7] 郭鑫, 于天源, 刘卉, 等. 颈椎拔伸法的操作特征及其运动学与动力学参数分析 [J]. 上海中医药杂志, 2015, 49(10): 11-13.
- [8] 冯敏山, 朱立国, 魏戊, 等. 颈椎旋提手法操作轨迹的动态捕捉研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(2): 176-177.
- [9] RYU J, SON J, AHN S, et al. Biomechanical analysis of the circular friction hand massage [J]. Technol Health Care, 2015, 23(Suppl)2: S529-S534.
- [10] 邓真, 牛文鑫, 王辉昊, 等. 生物力学在中医骨伤手法治疗颈椎病中的应用 [J]. 医用生物力学, 2015, 30(6): 569-573.
- [11] 朱立国, 冯敏山, 魏戊, 等. 个体因素对颈椎旋提手法操作影响的在体力学研究 [J]. 中国中医骨伤科杂志, 2011, 19(9): 14-17.
- [12] 耿楠, 于天源, 刘卉, 等. 颈椎定位旋转扳法操作特征的运动生物力学参数分析 [J]. 长春中医药大学学报, 2015, 31(3): 607-610.
- [13] 王平, 王晓东, 李海, 等. 三维动态牵伸回旋法干预下冻结肩盂肱关节运动轨迹特征的研究 [J]. 中华中医药学刊, 2013, 31(9): 1914-1916.
- [14] 吕杰, 曹金凤, 马龙龙, 等. 中医推拿一指禅手法垂直作用力均匀性的量化研究 [J]. 医用生物力学, 2012, 27(4): 456-459.
- [15] TRIANO JJ, ROGERS CM, COMBS S, et al. Quantitative feedback versus standard training for cervical and thoracic manipulation [J]. J Manipulative Physiol Ther, 2003, 26(3): 131-138.
- [16] 张军, 刘强, 孙树椿, 等. 基于退变腰椎间盘模型的旋转手法对椎体角度位移的影响 [J]. 中国中医骨伤科杂志, 2016, 24(5): 1-4.
- [17] 王玮, 王冬梅, 李飞跃, 等. 伤科手法治疗腰椎间盘突出症的运动学研究 [J]. 中国生物医学工程学报, 2016, 35(5): 541-547.
- [18] 高春雨. 坐位腰椎旋转手法治疗退行性腰椎滑脱症的临床及在体运动学研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2013.
- [19] 王辉昊, 张旻, 牛文鑫, 等. 三维运动捕捉技术在颈椎整复手法中肢体运动轨迹的在体研究 [J]. 中国骨伤, 2015, 28(10): 940-944.
- [20] 叶青. 无标记人体运动捕捉技术的研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.

(2017-09-17 收稿 2017-11-07 修回)

(上接第 40 页)

- [4] 殷琴, 余庆阳. 髌骨软化症的研究进展 [J]. 中医正骨, 2012, 24(9): 65-69.
- [5] 宿鹏, 张辉. 髌骨倾斜髌骨半脱位与髌骨软化症之间的相关性研究 [J]. 中国矫形外科杂志, 2014, 22(15): 1365-1368.
- [6] ELIAS DA, WHITE LM. Imaging of patellofemoral disorders [J]. Clin Radiol, 2004, 59(7): 543-557.
- [7] 马秀山, 王中伟, 徐英杰, 等. 髌骨不稳定所致髌股关节撞击的影像学改变 [J]. 吉林医学, 2011, 32(1): 44-45.
- [8] 亓建洪, 黄煌渊, 陈世益, 等. 髌骨倾斜导致髌股关节接触压力与面积改变 [J]. 中国运动医学杂志, 1997, 16(3): 183-186.
- [9] TIDERIUS CJ, OLSSON LE, LEANDER P, et al. Delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage (dGEMRIC) in early knee osteoarthritis [J]. Magn Reson Med, 2003, 49(3): 488-492.
- [10] SHIGUETOMI - MEDINA JM, GOTTLIEBSEN M, KRISTIANSEN MS, et al. Water-content calculation in growth plate and cartilage using Mr T1-mapping design and validation of a new method in a porcine model [J]. Skeletal Radiol, 2013, 42(10): 1413-1419.
- [11] KIJOWSKI R, BLANKENBAKER DG, MUNOZ DEL RIO A, et al. Evaluation of the articular cartilage of the knee joint: value of adding a T2 mapping sequence to a routine Mr imaging protocol [J]. Radiology, 2013, 267(2): 503-513.
- [12] NISHIOKA H, HIROSE J, NAKAMURA E, et al. Detecting ICRS grade 1 cartilage lesions in anterior cruciate ligament injury using T1p and T2 mapping [J]. Eur J Radiol, 2013, 82(9): 1499-1505.
- [13] GREIWE RM, SAIFI C, AHMAD CS, et al. Anatomy and biomechanics of patellar instability [J]. Operative Techniques in Sports Medicine, 2010, 18(2): 62-67.

(2017-07-27 收稿 2017-11-13 修回)