

文章编号: 1000-5862(2018)05-0507-05

基于 3 维动作捕捉的下肢骨折术后步态分析

叶思航¹, 谢 叻^{1,2*}, 王海鹏³, 高 塬¹, 徐雯娟³

(1. 上海交通大学塑性成形技术与装备研究院, 上海 200030;

2. 上海交通大学生物医学工程学院康复工程研究所, 上海 200030;

3. 上海市静安区中心医院, 复旦大学附属华山医院静安分院, 上海 200030)

摘要: 通过 3 维动作捕捉系统, 采集患者的大腿、小腿、脚部的运动数据, 导入到软件中进行步态分析, 从而得到患者步态的时空参数和运动学参数。通过试验分析发现: 患者的步长变化明显, 并且手术后的患肢着地时间低于正常人标准, 这说明患者术后没有完全恢复正常步态。通过这些参数的分析, 定量分析患者和正常人的差距, 有助于医师评估患者的康复状态, 从而评定康复强度, 制定后续的康复方案。

关键词: 动作捕捉; 骨科; 康复

中图分类号: TP 391.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2018.05.13

0 引言

目前, 对于骨关节疾病、骨折的诊断、治疗及其康复过程缺乏对其临床疗效进行分析的客观依据^[1]。在医疗上往往采用关节疼痛度评分、膝关节功能评分等评分系统对患者下肢骨折术后的康复情况进行评定, 评定形式多为医生询问, 患者回答, 由于患者的感官差异, 因而评定结果存在很大的主观性。尤其对于应用内固定手术治疗骨折的患者, 其骨折愈合情况难以判定, 医生难以确定撤除固定的最佳时间。患者的术后康复评定往往依赖于医生的临床经验, 不恰当的治疗手段不但无益于患者病情的康复, 甚至可能使病情恶化。

步态分析是用于研究骨科疾病的治疗与康复效果的方法, 它利用力学概念和算法对人体行走时的肢体和关节活动进行运动学和动力学分析^[2-4]。步态分析系统能实时测定患者的步态运动参数, 从而判定患者的康复程度, 帮助医生正确指导患者后续的功能锻炼, 使康复治疗个性化, 提高医疗质量^[5-6]。

将运动捕捉技术应用到步态分析中, 相比于传统上采用步态测力鞋垫方法, 不仅能计算步态的 2 维统计特征, 而且能分析各骨骼关节 3 维空间步态

特征。运动捕捉技术采用重要关节放置传感器, 对数据进行采集。A. Pfister 等^[7]使用了 Kinect 做步态分析, 但由于软件上存在缺陷并且硬件上误差较大, 故该步态分析的结果和医学评估结果有一定差距。S. Mhradi 等^[8]使用光学运动捕捉进行分析, 但由于价格昂贵且不方便移动, 使得该研究难以快速且便捷地分析多人步态数据。同济大学用 vicon 做步态分析, 但主要应用于摔倒检测, 没有使用在康复治疗分析上^[9]。3 维运动捕捉系统可为下肢骨折术后康复评定提供客观的量化指标, 为分析异常步态原因和制定治疗方案提供必要的依据, 逐步成为步态分析的重要组成部分^[10-12]。

本文运用 3 维运动捕捉系统, 捕捉骨科术后患者的步态动作, 通过传感器将各个节点的自由度和运动参数导入计算机, 分析各个节点的运动轨迹, 得出医生需要的患者身体参数, 辅助医师根据步态分析结果给出正确的康复判断^[13-14]。

1 步态分析方案

1.1 研究对象

选取 10 名正常人和 20 名骨科术后患者, 参加正常人步态测试的受试者为上海交通大学 med-x 研

收稿日期: 2018-01-29

基金项目: 国家自然科学基金面上(61672341), 上海市科委(17441903800), 国家自然科学基金重大课题(61190120, 61190124) 和国家 863 计划课题(2015AA043203) 资助项目。

通信作者: 谢 叻(1964-), 江西南昌人, 教授, 博士生导师, 主要从事虚拟现实技术、数字化制造技术和手术机器人技术的研究。E-mail: lexie@sjtu.edu.cn

究院的学生和上海市静安区中心医院(复旦大学附属华山医院静安分院)的职工,参加患者步态测试的受试者为上海市静安区中心医院(复旦大学附属华山医院静安分院)的下肢骨折术后患者。向每位受试者解释本研究的目的及步骤,并征得其同意。本研究采取自愿参加的形式。

1.2 研究设备

设备采用 Foheart C1 惯性动作捕捉系统,通过使用 17 个惯性动捕节点,姿态测量范围是 360° ,加速度量程是 $\pm 8\text{ g}$,角速度量程是 $\pm 2\ 000\text{ dps}$,角度测量分辨率是 0.02° ,最大更新速率是 200 fps 。动捕节点通过无线路由器进行无线传输数据,数据传输频段是 2.4 GHz ,传输速率为 48 Hz 。试验过程中,将 17 个节点绑定在头部、后背、肩部、上臂、小臂、手部、胯部、大腿部、小腿脚部,同时根据试验者的身体情况适当调整绑带松紧度和节点朝向。穿戴方法和位置如图 1 所示。



图 1 节点穿戴样式

1.3 研究过程

1) 试验开始前,和受试者说明具体的试验过程,使受试者理解,方便配合;

2) 受试者要求不穿鞋,穿着轻薄衣服,行走时接近平时行走;

3) 将惯性动作捕捉系统佩戴至受试者的身上,并调整绑带的松弛度和绑带的位置,使受试者能将各节点佩戴至标准位置且保证在运动过程中各节点不会脱落;

4) 在场地上铺有一个长度约为 20 m 的地毯,受试者站在起点位置,按要求在工作人员的帮助下进行下蹲和直立 2 个动作,并将这 2 个动作数据通过无线路由器传输到电脑中,进行建模的初始校正。然后受试者可以进行一定的走动,在计算机中实时校正,以保证模型建立的精度。如果模型动作与实际动作不符,则需要重新进行初始校正;

5) 在校正完成后,受试者需要在地毯上从起点到终点来回走动 2 次,在行走过程中需要保证受试者尽量沿着直线走动且行走自然。走动完成后计算机内就形成了受试者行走的 4 个步态周期,形成分析样本,从而为后续的数据分析做准备。具体过程如图 2 所示。

1.4 数据分析

试验通过惯性动捕节点将捕捉到的受试者数据,依靠无线路由器,无线传输到配套软件 Motion-Venus 3 维运动捕捉系统软件进行步态分析。通过 17 个动捕节点传感器识别受试者在空间中的位置变化,得出受试者的运动轨迹。在确保初始校正无误后,将受试者行走后的动作数据保存成 fbx 模型,一方面能再次确认模型角色的动作是否有问题,另一方面,也可以保证能将该模型数据导入到 unity3D 中进行进一步运动轨迹的数据分析。

在导入模型后,需要分析的数据主要有左右脚的步长,左右脚的落地停留时间等。通过 c\# 脚本的运算,可快速得到这些数据。将这些数据和正常人数据做对比,从而判断出受试者的步态变异性性和步态对称性。如果把数据放到整个步态分析中,可以初步得出该受试者的步态周期,其中包括其站立相、摆动相和双肢负重期。用这些数据作参考,可以对受试者的步态周期有一个初步的评定,并对该受试者的步态分析给出一个打分,以给定康复结果^[15]。

2 结果

2.1 步态分析模型

在保证初始定位校正无误的情况下,通过 3 维惯性动作捕捉系统的动捕节点的绑定,可以建立受试者的实时人物模型,如图 3 所示。

2.2 曲线图表

受试者在事先铺好的地毯上来回走动 2~3 次,选取其中走的最自然的一次作为最后结果的动作数据,生成 fbx 模型,并进行数据分析,可得到所有节点的运动轨迹。为了步态分析的需要,选取胯部以下的大腿、小腿和脚部这 6 个节点数据进行分析。本次

采集的数据显示 ,骨科术后患者的步态动作与正常人相比 ,左右脚的步长上有明显的差异 ,这说明骨科手术后 ,摆动相的长度有明显的变化.从脚着地的停留时间来看 ,骨科术后患者和正常人也有明显的区

别 ,这与手术后患者脚部负重承受时间是相关的.相对来说 ,接受骨科术后的患者 ,由于不能过长的承受脚部负重的状态 ,因此脚着地的停留时间也相对较短 ,具体参数如表 1 所示.



图 2 受试者测试的实际过程

表 1 受试者病症和步长、着地时间参数

患者(病症)	步长(左) /mm	步长(右) /mm	站立相时间(左) /s	站立相时间(右) /s	年龄/岁	身高/cm
正常人	889.8	884.3	0.51	0.52	52	165
患者 1(左股骨颈骨折)	735.6	754.8	0.43	0.41	67	170
患者 2(右股骨颈骨折)	910.6	963.1	0.33	0.24	61	165
患者 3(左胫腓骨骨折)	796.6	888.7	0.48	0.47	48	168
患者 4(右股骨颈骨折)	1 033.7	1 161.1	0.21	0.17	48	162
患者 5(左股骨颈骨折)	694.9	734.5	0.19	0.36	69	160
患者 6(右胫腓骨骨折)	650.1	631.5	0.39	0.38	61	174
患者 7(右股骨颈骨折)	923.5	897.2	0.42	0.35	79	162
患者 8(左股骨颈骨折)	566.8	635.5	0.66	0.77	50	178
患者 9(助行器步态)	138.2	121.4	1.83	1.74	32	172

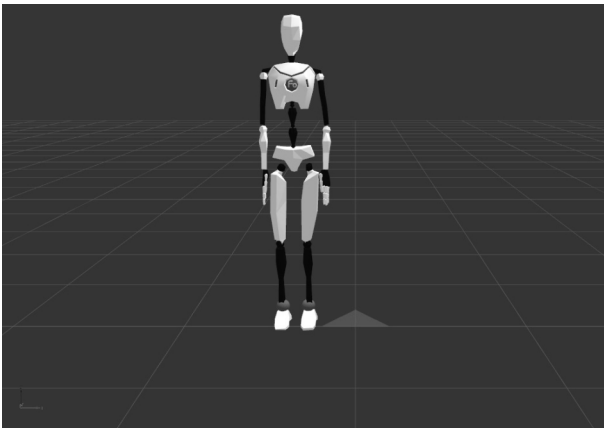


图 3 受试者人物模型

结果分析:

- 1) 患者 1 3 6 为术后 6 个月以上的患者 ,在门诊随访时 ,复诊 X 片显示 ,骨折线完全消失 ,骨折完全愈合.患侧下肢的肌力 5 级 ,同正常人的肌力和健侧相同 ,关节活动范围正常.通过步态分析看出 ,步长和双足停留时间差异不大 ,判断患者术后恢复良好 ,基本恢复到骨折前的状态 ,不需要进一步康复指导 ,可恢复正常活动 ,步态分析方法和临床医生的判断结果相同.
- 2) 患者 2 4 5 7 8 为术后 3 个月的患者 ,在门诊随访时 ,复诊 X 片显示 ,关节置换假体和内固定

位置良好或骨折线模糊。患侧下肢的肌力为 4 级,可抵抗较弱的外力。关节活动范围较健侧肢体变小。通过步态分析看出,步长和停留时间存在差异,停留时间差异明显。在临床上有指导意义,有助于制定下一步的康复锻炼。判断患者术后恢复尚可,恢复到骨折前的状态,还需要增加肌力和关节活动度的康复锻炼。步态分析方法和临床医生的判断结果相同。通过数据分析发现,下肢骨折术后患者在行走时,患肢的停留时间明显小于健侧肢体,这说明患肢存在骨折不愈合和肌肉萎缩,没有恢复到骨折前状态,还需要进行康复锻炼。建议采用关节松动术(大+小) Qd、推拿(骨关节大) Qd、运动疗法(ROM) Qd、电子生物反馈(左胫前肌) Qd、平衡功能训练 Qd、气压治疗(双下肢) Qd、红外线 Qd、激光 Qd 等康复措施。

3) 患者 9 为术后 1 个月的患者,在门诊随访时,复诊 X 片显示,骨折线可见,骨折没有愈合。患侧下肢的肌力 3 级,可抬起肢体但不能抵抗外力,关节活动范围较小。通过步态分析看出,骨折术后早期患者,行走需要辅助使用助行器,步幅较小,双足停留时间较长,这说明术前和手术期卧床时,肌肉有不同程度的萎缩,全身平衡和协调性差,需要使用助行器辅助行走。这对于骨折术后早期下床患者是很好的保护,康复指导重点以恢复肌力和身体协调性为主。步态分析方法和临床医生的判断结果相同。

3 讨论

本试验采用 3 维惯性运动捕捉与分析系统,捕捉了骨科术后患者全身 17 个节点的运动数据,实现步态动作数据的实时采集,完成了骨科术后患者步态分析模型的创建,通过 unity3D 提取出步态动作中有助于康复分析的数据。

3.1 试验意义

3 维惯性动作捕捉系统作为一种捕捉人体动作的新技术,通过在人体的重要节点佩戴集成加速度计、陀螺仪和磁力计的动捕节点,能够有效捕捉人体的运动数据,这对于医学上判断人体的身体状况以及患者术后的康复状况,都有很大的帮助^[16-17]。通过运动捕捉系统,一方面能归纳正常人的运动规律,另一方面也能对患者的异常运动特征进行分析。

将 3 维惯性动作捕捉系统应用于下肢骨折患者的步态分析中,有以下优点:

1) 负重步态无损测试仪器能够测试出患者的步长、脚步停留时间等参数,进而分析患者的步态变异性与步态对称性,并能给出步态周期中站立相和

摆动相的占比,能够测试出患者的脚部运动参数与正常人是否存在差别,以及随着病情的好转,步态是否随之接近正常人;

2) 步态测试可以提供患者步态的客观数据及康复评定的量化指标给临床医师,相比传统的评分系统,基于 3 维动作捕捉技术的步态分析方法,可很好地解决诊断、治疗以及康复过程中的量化问题;

3) 操作简便,受环境限制较小,患者可在大多数环境下接受检查。

3.2 试验结果分析

通过对比下肢骨折患者和正常人的步态数据发现,下肢手术患者的步长有明显差异,说明患者步态对称性与正常人存在明显的差异,手术侧肢体肌肉功能还没有完全恢复,肌力较健侧存在差异。同时,手术侧脚部着地时间也明显低于正常人的着地时间,这说明患者的站立相和摆动相的比例有所变化,这是因为手术侧骨折没有完全愈合引起患肢负重时疼痛,人体本能的减少患肢的着地时间引起的。这些参数一方面能帮助医师了解患者的身体状况和康复程度,另一方面也有助于医师制定合理的康复计划,有助于进一步康复治疗。

3.3 展望

本文将 3 维惯性动作捕捉系统应用到步态分析中,通过计算步态参数,得出受试者的步态周期规律,将有助于分析下肢骨折术后患者的康复情况,为临床医生提供客观的量化指标,帮助医师安排患者的康复计划,实时调整康复强度,实现对不同患者精准康复的理念。由于光学传感器容易受到遮挡且对环境光线要求较高,因而测量空间小且需要保证光线充足的测量环境,从而传统的光学动作捕捉设备有很大的局限性。但惯性动作捕捉设备不仅测量空间有所扩大,同时也无需考虑普通的遮挡影响,因而有广泛的适用性,并且具有便携性的特点。虽然还存在误差累积的局限性,但在未来研究中,将进一步优化算法,增加测试数量,以保证结果的精度,使患者能得到更好的康复评估。

4 参考文献

- [1] 帅记焱,徐江祥,周志刚,等.老年桡骨远端骨折康复治疗疗效观察[J].中国康复医学杂志,2010,25(8):792-794.
- [2] Jacquelin Perry, Judith M Burnfield. Gait analysis: normal and pathological function [J]. Jama the Journal of the American Medical Association 2010, 304(8):907.

- [3] King S L ,Barton G J ,Ranganath L R. Interpreting sources of variation in clinical gait analysis: A case study [J]. *Gait and Posture* 2017 52: 1-4.
- [4] 谢叻,神祥龙,吴朝丽,等.具有力反馈的心血管介入虚拟手术模拟器的研发[J].*江西师范大学学报:自然科学版* 2017 41(4): 331-337.
- [5] Kok M ,Hol J D ,Schön T B. An optimization-based approach to human body motion capture using inertial sensors [J]. *IFAC Proceedings Volumes* 2014 47(3): 79-85.
- [6] Corazza S ,Mündermann L ,Gambaretto E ,et al. Markerless motion capture through visual hull ,articulated ICP and subject specific model generation [J]. *International Journal of Computer Vision* 2010 87(1/2): 156-169.
- [7] Pfister A ,West A M ,Bronner S ,et al. Comparative abilities of microsoft kinect and vicon 3D motion capture for gait analysis [J]. *Journal of Medical Engineering & Technology* 2014 38(5): 274-280.
- [8] Mhradi S ,Ferryanto ,Dirgantara T ,et al. Development of an optical motion-capture system for 3D gait analysis [C]. *International Conference on Instrumentation* ,2011: 391-394.
- [9] 苑婷婷,何斌.基于3D运动捕捉技术的人类步态分析[J].*数字技术与应用* 2017(2): 232-233.
- [10] Fernandez-Baena A ,Susín A ,Ligadas X L. Biomechanical validation of upper-body and lower-body joint movements of kinect motion capture data for rehabilitation treatments [C]. *International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems* 2012: 656-661.
- [11] Jin Mei ,Zhao Jing ,Jin Jun ,et al. The adaptive Kalman filter based on fuzzy logic for inertial motion capture system [J]. *Measurement* 2014 49(1): 196-204.
- [12] Ponsmoll G ,Baak A ,Gallm J ,et al. Outdoor human motion capture using inverse kinematics and von mises-fisher sampling [C]. *IEEE International Conference on Computer Vision* 2011 23(5): 1243-1250.
- [13] Scheffer C ,Cloete T. Inertial motion capture in conjunction with an artificial neural network can differentiate the gait patterns of hemiparetic stroke patients compared with able-bodied counterparts [J]. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 2012 15(3): 285-294.
- [14] Supej M. 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system [J]. *Journal of Sports Sciences* 2010 28(7): 759-769.
- [15] 周朝政,谢叻.微创人工耳蜗手术导航匹配算法研究[J].*江西师范大学学报:自然科学版* 2017 41(4): 344-347.
- [16] Venture G ,Ayusawa K ,Nakamura Y. Motion capture based identification of the human body inertial parameters [C]. *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 2008: 4575-4578.
- [17] Li Shuai ,Wang Yongsheng ,Xiang Ruipai. Human body motion capture system based on inertia sensing technology [J]. *Advanced Materials Research* 2013 722: 454-458.

The Postoperative Gait Analysis of Orthopedics Based on 3D Motion Capture

YE Sihang¹ ,XIE Le^{1,2*} ,WANG Haipeng³ ,GAO Yuan¹ ,XU Wenjuan³

(1. Institute of Forming Technology & Equipment ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai 200030 ,China;

2. Institute of Rehabilitation Engineering ,School of Biomedical Engineering ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai 200030 ,China;

3. Jing'an District Central Hospital of Shanghai ,Huashan Hospital ,Jing'an Branch ,Fudan University ,Shanghai 200030 ,China)

Abstract: The rehabilitation of orthopedic patients has great influence on the daily life and work. The motion data of the thigh ,leg and foot of the patients got by 3D motion capture are imported to the software for gait analysis in order to get the spatial and kinematic parameters. Analysis based on experiments shows that the step length of patients change obviously and the time of placing each leg are lower than normal person ,which explains that they are not completely restored to normal gait. The analysis is useful for orthopedic doctor to check the rehabilitation of patients and it is helpful for doctor to assess the degree of rehabilitation and design the rehabilitation scheme.

Key words: motion capture; orthopedics; rehabilitation

(责任编辑:王金莲)