

· 临床研究 ·

数据手套在手外伤患者评估中的应用初探

夏培淞 李建华 仲亮 陈寅格 彭玉鑫

【摘要】 目的 研究制作一款可辅助康复医师及治疗师评估手外伤患者康复程度的数据手套评估系统。**方法** 本研究设计并制作一款包含有 13 个 6 轴惯性传感器的数据手套,并选取 10 例健康受试者和 3 例在邵逸夫医院康复科治疗的手外伤患者进行试戴,将手套中每个传感器采集的 X 轴、Y 轴、Z 轴 3 个方向的加速度及角速度数据传输到电脑终端,并运用角度解算算法计算被试者各手关节活动度。为验证该数据手套是否能有效反映手外伤患者手关节活动能力,本研究同时采用传统量角器测量方法对数据手套结果进行对比。**结果** 与传统量角器测量方法比较,本研究制作的数据手套评估系统能在更短时间内获得更准确、直观的健康者及手外伤患者手关节活动度数据,降低了康复医师及治疗师评估手外伤患者康复情况的难度。**结论** 本研究制作的数据手套评估系统能有效辅助康复医师及治疗师对手外伤患者恢复情况进行评估。

【关键词】 数据手套; 惯性传感器; 手外伤

基金项目:浙江省自然科学基金(Q19C100004);浙江省 2018 年“钱江人才计划”项目(QJC1802009)

The application of data gloves in the evaluation of patients with hand injuries Xia Peisong*, Li Jianhua, Zhong Liang, Chen Yingge, Peng Yuxin. *Department of Physical Education and Sports Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China

Corresponding author: Xia Peisong, Email: xiapeisong4035@163.com

【Abstract】 Objective To develop a data glove evaluation system to assist rehabilitation physicians and therapists in assessing the degree of rehabilitation of hand-wounded patients. **Methods** A data glove containing 13 6-axis inertial sensors was designed and produced. It was tested on 10 healthy subjects and 3 hand trauma patients admitted to the Department of Rehabilitation Medicine at Run Run Shaw Hospital. The glove transmitted acceleration and angular velocity components in the X, Y and Z directions to a computer terminal, allowing the bending angles of the subject's finger joints to be calculated. Traditional protractor measurements were used to verify to what extent the data glove accurately reflected the hand and joint activity. **Results** Compared with the traditional protractor measurement method, the data glove quickly gave accurate maximum bending angles both in healthy and hand-wounded subjects. Such data can facilitate the rehabilitation of hand injuries. **Conclusions** The data glove produced in this study can effectively assist rehabilitation doctors and therapists in assessing the recovery of hand-injured patients.

【Key words】 Data gloves; Inertial sensors; Hand injury

Fund program: Natural Science Foundation of Zhejiang Province (grant Q19C100004); Zhejiang Province 2018 Qian Jiang Talent Program (grant QJC1802009)

手是人体最重要的运动器官,由于其使用频率较高且暴露在外,所以其损伤占到人体创伤总数的 1/3 以上^[1]。目前对手外伤的评估主要包括关节主动活动度(total active movement, TAM)、肌力、感觉以及外形等方面,且评估过程耗时较长^[2];其中 TAM 是美国手外科学会推荐的测定方法,多用于评估手外伤患者

手功能情况^[3]。TAM 需要测量手部各关节角度并进行计算,而当前绝大部分康复医师和治疗师仍采取传统量角器测量患者关节范围^[4],这种测量方式不但费时、费力而且误差较大。

目前国内、外测量关节角度的数据手套主要分为 4 类,分别是:①基于弯曲传感器的数据手套^[5];②基于霍尔效应的数据手套^[6-7];③基于视觉的数据手套^[8-9];④基于惯性传感器的数据手套^[10-13]。2014 年 Saggio^[5]将一种新型弯曲传感器阵列集成到手套中,能进行关节角度半自动测量,该弯曲传感器具有重量轻、可变形、寿命长等优点;然而弯曲传感器的

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.12.011

作者单位:310028 杭州,浙江大学体育科学与技术研究所(夏培淞、李建华、仲亮、陈寅格、彭玉鑫);浙江大学附属邵逸夫医院康复科(李建华)

通信作者:夏培淞,Email: xiapeisong4035@163.com

精度随着时间推移而逐渐降低,小角度校准也存在一定困难。Phillips 等^[6]提出使用 1 个霍尔效应传感器和 1 个小磁铁来捕捉手指运动,其中霍尔效应传感器具有成本低、密封性能强、工作频率高等优点;但它容易受外部磁场干扰,其响应时间也较慢。Placidi 等^[8]开发了一套基于视觉的数据手套系统,可用于捕捉和跟踪手部动作。基于视觉的数据手套具有较高的精度和非接触式测量等特点,但该类型手套对硬件要求高且容易受摄像机放置位置、手遮挡及环境光等因素影响。Kortier 等^[10]设计了一种带有惯性传感器的有线数据手套,可精确测量手指运动。基于配置惯性传感器的数据手套具有硬件要求低、响应快、数据率高、相对便宜、寿命长等优点,虽然其同时有形状固定、噪声高等缺点,但通过合理的结构设计及适当的算法可对其进行优化。本研究采用惯性传感器作为数据手套的主要部件,并对 10 例健康受试者和 3 例手外伤患者手关节活动度进行测量,同时将结果数据与传统量角器测量结果进行对比,现将结果报道如下。

资料与方法

一、硬件部分

本实验设计并制作的数据手套包含 13 个 6 轴惯性传感器(MPU6050)^[14],每个惯性传感器中都含有加速度感应芯片和陀螺仪,可分别测量 X 轴、Y 轴、Z 轴 3 个方向的加速度及角速度分量,所有惯性传感器所组成的采集模块通过 IIC 总线与 NodeMCU 开发板相连接;NodeMCU 开发板通过 USB 转接线与 1 台苹果笔记本(MacBook Pro Retina, 13-inch, Early 2013)相连,共同构成分析处理模块。本研究数据手套所采用的硬件结构如图 1 所示。

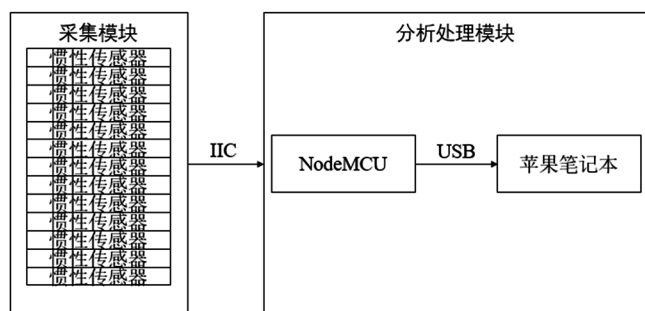


图 1 本研究设计的数据手套硬件结构图

由于手外伤患者其手大小间存在差异,本研究在设计数据手套时采取可拆卸式方案,每个惯性传感器和 NodeMCU 通过尼龙搭扣固定于手套上,由于尼龙搭扣的方便拆卸特性可根据患者手指长度调整惯性传感器位置,进而保证获得准确关节活动度数据。本研究

设计的数据手套外观详见图 2。

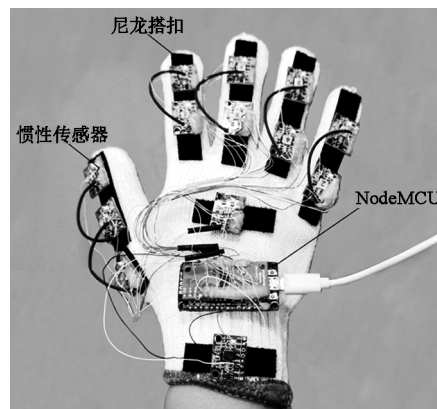


图 2 本研究设计的数据手套外观图

二、软件部分

本研究开发的评估程序运行在 macOS High Sierra 操作系统上,采用 Arduino IDE 作为开发环境,主要采用 C 语言作为开发语言,数据传输波特率为 230400 bps。本研究所采用的算法是通过传感器内的数据处理芯片(Data-Management Platform, DMP)解算出一组反映每个惯性传感器姿态的四元数,再将所得到的四元数转换成姿态角^[15],通过姿态角计算相邻 2 个惯性传感器的夹角度数,最后将 180 度与各夹角度数相减得出各关节活动度。通过软件界面能实时监测受试者手关节活动度,并在测量结束后将得到的角度数据保存为 TXT 文件供进一步分析。

三、实验方法

本研究实验对象选取 10 例健康成年男性[年龄 26~43 岁,平均(34.6±7.2)岁]以及在浙江大学附属邵逸夫医院康复科治疗的 3 例男性手外伤患者,其中患者 1(年龄 35 岁)诊断为右示指近节指骨骨折,症状为右示指掌指关节与近端指间关节活动受限;患者 2(年龄 38 岁)诊断为右手拇指屈拇长肌腱断裂,症状为拇指指间关节功能障碍;患者 3(年龄 21 岁)诊断为右肌腱损伤、右肌腱粘连,症状为右手近端指间关节与右腕关节活动受限。

由研究人员依次对其进行测试,测试过程共分为 3 个阶段,分别是准备阶段、实测阶段及对比阶段。

在准备阶段,在确定被试者同意配合进行手部评估实验后,研究人员将制作好的数据手套佩戴于被试者手上,并根据被试者手指长度适当调整各传感器位置进而保证获取准确读数;之后被试者被要求进行手部自由活动,若有任何不适须立即向研究者反映以便及时调整,与此同时研究者询问患者实际佩戴数据手套感受并进行记录;最后通过 USB 转换线缆将数据手套与苹果笔记本相连并运行角度分析程序,同时打开串口助手并观察数据传输是否正常。

在实测阶段,要求被试者进行每根手指最大弯曲运动以及手腕最大弯曲运动。在被试者进行手指弯曲活动时,要求其按照拇指、示指、中指、环指和小指顺序依次进行最大程度弯曲动作,同时研究者记录每根手指弯曲起止时间;之后要求被试者将手腕弯曲到最大程度,并由研究者记录起止时间。

在对比阶段,由在邵逸夫医院任职 6 年且具有丰富经验的治疗师采用传统量角器测量被试者右手手指关节活动度,并由研究者记录被试者每个手指弯曲以及整个测量过程起止时间。测量结束后由研究者询问并记录被试者针对上述两种测量方法的主观感受,研究者同时向治疗师询问传统测量方法的局限性以及对采用数据手套系统测量的感受。

四、统计学分析

本研究所得计量数据以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,采用 SPSS 19.0 版统计学软件包进行数据分析,组内计量数据比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

本研究实验结果详见表 1~4。表 1 数据显示,健康组各手关节活动度除拇指掌指关节和腕关节外,其余关节活动度都处于 80~95° 范围;而且各关节使用手套法测量结果与传统法测量结果相近,差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。表 2~4 数据显示,患者 1 的示指掌指关节与近端指间关节活动度均 $< 15^\circ$,其余各指关节活动度除拇指掌指关节、腕关节外均 $> 80^\circ$,符合该患者右手示指掌指关节及近端指间关节活动受限特征。患者 2 的拇指指间关节活动度 $< 10^\circ$,但拇指掌指关节有 40° 左右的活动度,腕关节活动度也接近健康组水平,其余各关节活动度也在 80° 以上,符合该患者右拇指指间关节功能障碍特征。患者 3 的手指近端指间关节活动度均 $< 10^\circ$,手腕关节活动度也只有 13° 左右,与健康组所测数据差异显著,符合该患者右指及右腕活动功能障碍特征。在测量时间方面,由于使用数据手套能同时测量同一根手指不同关节的活动度,因此手指近端关节无需单独耗费时间测量。表中数据也显示,采用量角器测量方式耗费时间明显长于采用数据手套系统测量耗费时间。

本研究对被试者的访谈结果总结如下:①手套佩戴舒适,表面干净整洁,屈伸手指、手腕时感受不到阻力;②手套外观很富有科技感;③与传统测量方式比较,受试者更愿意使用数据手套系统进行测量。

本研究对治疗师的访谈结果总结如下:①使用传统量角器测量方式比较耗时,使用数据手套系统可快速获取各关节活动度数据;②有些患者手关节活动能力较差,使用量角器测量难度较大,而数据手

套系统能很好地解决该问题,测量更方便;③有部分患者在进行最大弯曲或伸展任务时其手部会出现抖动现象,这会使传统量角器测量数据产生较大误差,而数据手套系统由于是输出一定时间段的极值,所以结果更准确。

表 1 本研究健康组受试者执行最大弯曲任务时两种测量方法各关节活动度比较 (°, $\bar{x} \pm s$)

测量部位	例数	传统法	手套法
拇指掌指关节	10	45.4±2.1	45.7±1.8
拇指指间关节	10	89.8±3.4	90.3±4.0
示指掌指关节	10	85.7±1.7	84.3±3.6
示指近端关节	10	88.1±2.6	86.2±1.9
中指掌指关节	10	85.3±2.4	88.5±2.8
中指近端关节	10	93.6±1.6	92.1±2.3
环指掌指关节	10	82.4±2.3	80.8±3.4
环指近端关节	10	92.5±1.8	94.0±1.5
小指掌指关节	10	82.0±2.0	81.4±3.2
小指近端关节	10	84.3±4.2	86.6±1.8
手腕关节	10	67.1±2.3	68.2±4.4

注:各关节活动度手套法测量结果与传统法测量结果比较, $P > 0.05$

表 2 患者 1 执行最大弯曲任务时两种测量方法各关节活动度及测试时间比较

测量部位	传统法		手套法	
	关节活动度 (°)	测试时间 (s)	关节活动度 (°)	测试时间 (s)
拇指掌指关节	37	4.57	39	1.87
拇指指间关节	86	2.21	85	0.00
示指掌指关节	3	3.98	4	2.03
示指近端关节	12	1.91	13	0.00
中指掌指关节	88	5.36	87	2.56
中指近端关节	91	2.38	93	0.00
环指掌指关节	82	4.02	84	1.57
环指近端关节	91	2.79	90	0.00
小指掌指关节	87	3.75	89	1.86
小指近端关节	88	2.78	87	0.00
手腕关节	59	3.24	61	2.25

表 3 患者 2 执行最大弯曲任务时两种测量方法各关节活动度及测试时间比较

测量部位	传统法		手套法	
	关节活动度 (°)	测试时间 (s)	关节活动度 (°)	测试时间 (s)
拇指掌指关节	41	6.02	39	1.98
拇指指间关节	8	2.31	9	0.00
示指掌指关节	80	5.14	82	2.13
示指近端关节	86	2.42	83	0.00
中指掌指关节	92	5.01	92	1.57
中指近端关节	87	2.18	85	0.00
环指掌指关节	95	3.87	94	2.15
环指近端关节	84	3.07	85	0.00
小指掌指关节	88	5.34	90	2.06
小指近端关节	87	2.24	88	0.00
手腕关节	62	4.08	64	1.44

表 4 患者 3 执行最大弯曲任务时两种测量方法
各关节活动度及测试时间比较

测量部位	传统法		手套法	
	关节活动度 (°)	测试时间 (s)	关节活动度 (°)	测试时间 (s)
拇指掌指关节	31	5.82	32	1.63
拇指指间关节	10	2.14	12	0.00
示指掌指关节	74	4.78	76	1.93
示指近端关节	2	2.27	3	0.00
中指掌指关节	68	4.36	67	2.37
中指近端关节	2	2.74	3	0.00
环指掌指关节	87	5.17	87	2.05
环指近端关节	6	2.67	7	0.00
小指掌指关节	82	3.97	81	1.67
小指近端关节	5	1.86	6	0.00
手腕关节	12	3.55	14	2.32

讨 论

本研究结果显示,被试者被要求执行手部最大弯曲任务时,使用数据手套测量的关节活动度数据接近使用量角器测量结果,均符合患者临床症状特征,这也进一步验证了手套法测量的准确性。另外从测量时间上分析,由于采用数据手套测量较采用量角器测量节省调整量角器和用笔记录等所需的时间,所以测量时间明显缩短。从佩戴舒适性角度分析,本研究所使用的数据手套伸缩性较好,对皮肤无刺激性,被试者表示手套卫生且舒适度较好。从测量过程的易用性及数据准确度分析,治疗师表示在对手功能较差的患者进行测量时,使用数据手套系统测量较量角器测量方式更方便、准确;同时数据手套系统可动态输出关节活动度数据并以图形化界面呈现,更加直观、精确。

综上所述,本研究采用的数据手套评估系统较传统量角器测量操作更方便,耗时更短,得到的角度数据也更准确,并且受试者佩戴手套的舒适度也较好,表明本研究所提出的数据手套评估系统能更好地测量手外伤患者手关节活动度,从而有效辅助康复医师及治疗师对手外伤患者恢复情况进行评估。

参 考 文 献

[1] 王澍寰.手外科学[M].第2版.北京:人民卫生出版社,1999:764.
[2] 杨朝辉,黄琴,夏小萱.手外伤后上肢功能指数量表与关节主动活

动度系统评定的对比研究[J].中国康复医学杂志,2011,26(2):128-131.DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.02.009.
[3] 刘兴红,喻姣花.手外伤病人手功能评估的研究进展[J].护理研究,2015,29(10):3465-3469.DOI:10.3969/j.issn.1009-6493.2015.28.004.
[4] 叶大勇,张希彬,李宝.改良腕手关节矫形器对卒中中偏瘫患者腕手关节屈肌痉挛及运动功能的疗效[J].中国康复理论与实践,2015,21(7):811-815.DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2015.07.016.
[5] Saggio G.A novel array of flex sensors for a goniometric glove[J].Sensor Actuat A-Phys,2014,205(205):119-125.DOI:10.1016/j.sna.2013.10.030.
[6] Phillips GF,Mcgroutner DA,Andrews BJ.Finger mobility following flexor tendon repair[J].J Hand Surg,1985,10(3):337-339.DOI:10.1016/S0266-7681(85)80056-5.
[7] Dipietro L,Sabatini AM,Dario P.Evaluation of an instrumented glove for hand-movement acquisition[J].J Rehabil Res Dev,2003,40(2):179.DOI:10.1682/JRRD.2003.03.0181.
[8] Placidi G,Avola D,Iacoviello D,et al.Overall design and implementation of the virtual glove[J].Comput Biol Med,2013,43(11):1927-1940.DOI:10.1016/j.combiomed.2013.08.026.
[9] Wachs JP,Mathias K,Stern H,et al.Vision-based hand-gesture applications[J].Comm Acn,2011,54(2):60-71.DOI:10.1145/1897816.1897838.
[10] Kortier HG,Sluiter VI,Roetenberg D,et al.Assessment of hand kinematics using inertial and magnetic sensors[J].J Neuroeng Rehabil,2014,11(1):70.DOI:10.1186/1743-0003-11-70.
[11] Hsiao PC,Yang SY,Lin BS,et al.Data glove embedded with 9-axis IMU and force sensing sensors for evaluation of hand function[J].Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc,2015,8:4631-4634.DOI:10.1109/EMBC.2015.7319426.
[12] Lin BS,Hsiao PC,Yang SY,et al.Data glove system embedded with inertial measurement units for hand function evaluation in stroke patients[J].IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng,2017,25(11):2204-2213.DOI:10.1109/TNSRE.2017.2720727.
[13] Lin BS,Lee IJ,Yang SY,et al.Design of an inertial-sensor-based data glove for hand function evaluation[J].Sensors,2018,18(5):E1543.DOI:10.3390/s18051545.
[14] 张平,刘祚时.基于惯性传感器 MPU6050 的手势识别方法[J].传感器与微系统,2018,37(1):46-49.DOI:10.13873/J.1000-9787(2018)01-0046-04.
[15] 张帆,曹喜滨,邹经湘.一种新的全角度四元数与欧拉角的转换算法[J].南京理工大学学报(自然科学版),2002,26(4):376-380.DOI:10.14177/j.cnki.32-1397n.2002.04.010.

(修回日期:2018-11-20)
(本文编辑:易 浩)