

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2019.10.010

· 临床研究 ·

运动姿态与肌电融合的脑卒中上肢运动功能评估系统的可行性研究

朱吉鸽¹, 李进飞², 徐国政³

1. 江苏卫生健康职业学院, 江苏南京市 210029; 2. 南京同仁医院康复医学科, 江苏南京市 211102; 3. 南京邮电大学自动化学院、人工智能学院, 江苏南京市 210023

通讯作者: 朱吉鸽, E-mail: jige_zhu@163.com

基金项目: 1. 江苏省卫健委信息化项目(No. X201603); 2. 江苏省重点研发计划项目(No. BE2015701); 3. 江苏卫生健康职业学院暨江苏高校品牌专业建设工程资助项目(No. PA201601)

摘要

目的 探讨基于运动姿态与表面肌电融合的上肢运动功能评估系统在脑卒中患者上肢运动功能评估中的可行性。

方法 2018 年 1 月至 2019 年 3 月, 在南京同仁医院选取脑卒中患者 10 例, 按照事先设计的康复评估动作, 分别获取康复动作完成过程中患肢的运动姿态和表面肌电数据, 运用运动姿态与肌电融合的上肢运动功能评估系统对患者上肢运动功能进行评估, 并分别与单纯基于运动姿态或肌电的评估结果进行比较; 同时分析系统评估效度。所有患者均接受 Fugl-Meyer 评定量表上肢部分(FMA-UE)的评估。

结果 运动姿态与肌电融合的上肢运动功能评估系统与 FMA-UE 评分之间呈正相关($r = 0.891$, $P = 0.001$), 优于单纯运动姿态($r = 0.758$, $P = 0.011$)或肌电($r = 0.697$, $P = 0.025$)评估结果。

结论 运动姿态与肌电融合的上肢运动功能评估系统能有效地对脑卒中患者上肢运动功能进行评估。

关键词 脑卒中; 运动姿态; 肌电; 上肢; 运动功能; 评估

Feasibility of Upper-limb Motor Function Assessment System Using Movement Posture and Electromyography

ZHU Ji-ge¹, LI Jin-fei², XU Guo-zheng³

1. Jiangsu Health Vocational College, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 2. Department of Rehabilitation Medicine, Nanjing Tongren Hospital, Nanjing, Jiangsu 211102, China; 3. College of Automation and Artificial Intelligence, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210023, China

Correspondence to ZHU Ji-ge, E-mail: jige_zhu@163.com

Supported by Informatization Project of Jiangsu Commission of Health (No. X201603), Key Research and Development Program of Jiangsu Province (No. BE2015701) and Joint Project of Jiangsu Health and Vocational College and Top-notch Academic Programs of Jiangsu Higher Education Institutions (No. PA201601)

Abstract

Objective To investigate the feasibility of movement posture and electromyography based upper-limb motor function assessment system in the assessment of upper-limb motor function for stroke patients.

Methods From January, 2018 to March, 2019, ten stroke patients were recruited from Nanjing Tongren Hospital. According to the predesigned rehabilitation movements, movement posture and surface electromyography data during rehabilitation movement implementation were collected, and the upper-limb motor function of stroke patients were evaluated using movement posture and electromyography based upper-limb motor function assessment system. Further comparisons were also made with single movement posture or electromyography based assessment system. Meanwhile, the validity of the proposed assessment system was verified. All the patients were assessed with Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremities (FMA-UE).

Results Positive correlations were shown between movement posture and electromyography based upper-limb motor function assessment system and scores of FMA-UE ($r = 0.891$, $P = 0.001$), and better validities were achieved

作者简介: 朱吉鸽(1982-), 女, 汉族, 河南南阳市人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向: 康复医学、卫生政策。

than single movement posture ($r = 0.758$, $P = 0.011$) or electromyography ($r = 0.697$, $P = 0.025$) based assessment.

Conclusion Movement posture and electromyography based upper-limb motor function assessment system can effectively evaluate the upper-limb motor function of stroke patients.

Key words: stroke; movement posture; electromyography; upper limb; motor function; assessment

[中图分类号] R743.3 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2019)10-1172-05

[本文著录格式] 朱吉鸽,李进飞,徐国政. 运动姿态与肌电融合的脑卒中上肢运动功能评估系统的可行性研究[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(10): 1172-1176.

CITED AS: ZHU Ji-ge, LI Jin-fei, XU Guo-zheng. Feasibility of Upper-limb Motor Function Assessment System Using Movement Posture and Electromyography [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(10): 1172-1176.

随着社会老龄化的加剧,在老年人中因脑血管血栓或脑血管破裂出血而导致的脑卒中患者逐渐增多。根据《2016年脑卒中流行病学报告》统计数据,我国现有脑卒中患者 7000 万,每年新发脑卒中 200 万。现代神经康复医学理论表明,脑卒中患者通过积极有效的康复治疗,可在一定程度上恢复肢体功能^[1-3]。

运动功能康复评估,作为治疗过程中必不可少的环节,对治疗师康复方案的确定起着至关重要的作用^[4]。现有临床运动功能康复评估方法大多采用量表形式进行,代表性的有 Brunnstrom 分期^[5]、Fugl-Meyer 评定量表(Fugl-Meyer Assessment, FMA)^[6]、Barthel 指数^[7]和 Wolf 运动功能测试等^[8]。上述量表大多需要治疗师采用半定量形式计分,受治疗师主观临床经验制约明显,且难以实时反映患者的康复进展,具有一定的局限性^[9-10]。

本文设计一种运动姿态与肌电融合的脑卒中患者上肢运动功能评估系统,该系统运用姿态与肌电传感器,分别实时检测康复评估动作完成过程中患肢的姿态和肌电数据,并运用隐马尔科夫模型计算患侧相对健侧的归一化运动功能对数似然概率数值,进而评估患者上肢运动功能恢复程度。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2018 年 1 月至 2019 年 3 月,在南京同仁医院康复医学中心,选取脑卒中患者 10 例,其中男性 7 例,女性 3 例;平均(61.2±7.46)岁;平均病程(58.2±21.35)个月;脑梗死 6 例,脑出血 4 例。所有患者均符合 1995 年全国第四届脑血管病学术会议通过的诊断标准^[11],并经 CT 或 MRI 证实。

纳入标准:①年龄 35~65 岁;②单侧脑梗死或脑出血,初次发作,病程>6 个月;③患侧肢体有不同程度的运动功能障碍(Brunnstrom III 期及以上);④意

识清楚、心肺功能良好,生命体征平稳,能很好地配合训练;⑤无精神疾病,无认知和心理障碍。

排除标准:①脑卒中再发及其他神经系统疾病;②重度抑郁;③严重认知、行为及语言障碍;④心肺功能、生命体征不稳定。

本研究已经南京同仁医院伦理委员会审批通过。

1.2 方法

1.2.1 系统设计

运动姿态与肌电融合的脑卒中患者上肢运动功能评估系统主要运用惯性测量^[12]和表面肌电^[13]传感器,分别测量康复评估动作完成过程中患肢相应运动姿态和肌力变化特征,并进一步根据这些特征,运用隐马尔科夫模型实时评估患者动作的分值^[14]。设计流程见图 1。

1.2.2 评估方法

患者在接受系统评估前,需当面签订知情同意书,并告知评估流程。为检验评估系统在患者上肢运动功能评价中的效度,患者首先接受治疗师 Fugl-Meyer 评定量表上肢部分(Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremities, FMA-UE)评估,然后再接受本系统评估。

录入患者一般信息后,患者坐位,在大屏幕上选取康复动作,并观看每组动作的标准示范。动作一:肘伸直,上肢上举过头。动作二:肘伸直,肩前屈 30°前臂旋转。动作三:手指触鼻。根据不同评估动作,在患侧肢体相应部位佩戴惯性测量传感器和表面肌电传感器,每个动作连续重复 5 次,每次均采集患肢相应运动姿态和肌电数据。评估动作结束后,系统直接输出在当前评估动作下患侧相对健侧上肢运动功能的归一化对数似然概率值。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 22.0 进行分析。对每种条件下评估系

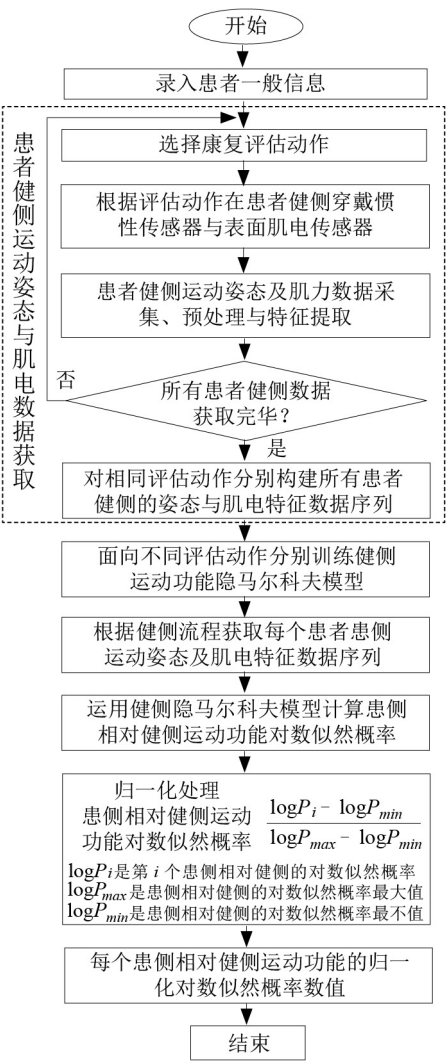


图1 运动姿态与肌电融合的脑卒中患者上肢运动功能评估系统流程

统的三种康复评估动作评分进行求和后，与患者 FMA-UE 分数进行 Spearson 相关性分析^[15]，与单纯基于运动姿态或肌电的评估系统效度进行比较；对运动姿态与肌电融合的评估系统按照动作分别进行系统信度评估^[16]，由同一名医师在 2 周内分别对每位患者进行前后两次评估，运用 Pearson 相关分析获取每个动作前后两次评估的相关系数，并进一步同单纯基于运动姿态或肌电评估系统信度进行比较。显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

运动姿态与肌电融合后的系统评估结果，根据评估系统输出的归一化对数似然概率数值，可将患者上肢 FMA-UE 评分大致分为“55/52/62”“48/44/41/37”

和“24/21/17”三个阶段，能较好地匹配患者运动功能变化。单纯基于运动姿态的系统评估结果主要集中于“55/52/41/62”、“37/21/44/48”和“17/24”三个阶段，与患者 FMA-UE 评分变化趋势不能呈现较好地一致性。单纯基于肌电的系统评估结果，三类不同动作对患者 FMA-UE 分数不能做出一致有效地划分。三种条件下评估系统的统计分析结果均与 FMA-UE 评分呈现出不同程度正相关($P < 0.05$)，其中运动姿态与肌电融合相关性最高。见表 1~表 3。

运动姿态、肌电及运动姿态与肌电融合的评估系统对三类康复动作的评估信度均值分别为 0.852、0.772、0.885。见表 4。

表 1 基于运动姿态的上肢运动功能评估结果

患者	归一化对数似然概率均值			FMA-UE 评分
	动作一	动作二	动作三	
1	0.98	0.96	0.91	55
2	0.91	0.86	0.75	41
3	0.94	0.88	0.86	52
4	0.89	0.83	0.76	62
5	0.75	0.72	0.58	44
6	0.76	0.66	0.23	21
7	0.79	0.77	0.60	37
8	0.32	0.28	0.12	17
9	0.67	0.61	0.50	48
10	0.31	0.17	0.18	24

注： $r = 0.758$ ， $P = 0.011$

表 2 基于肌电的上肢运动功能评估结果

患者	归一化对数似然概率均值			FMA-UE 评分
	动作一	动作二	动作三	
1	0.82	0.80	0.76	55
2	0.90	0.83	0.79	41
3	0.94	0.89	0.82	52
4	0.94	0.85	0.84	62
5	0.88	0.83	0.73	44
6	0.66	0.47	0.26	21
7	0.91	0.83	0.72	37
8	0.26	0.22	0.13	17
9	0.81	0.72	0.64	48
10	0.31	0.20	0.17	24

注： $r = 0.697$ ， $P = 0.025$

3 讨论

现有脑卒中患者运动功能康复大多采用量表进行评估。这种评估方法存在以下不足：首先，依赖于治

表 3 运动姿态与肌电融合的上肢运动功能评估结果

患者	归一化对数似然概率均值			FMA-UE 评分
	动作一	动作二	动作三	
1	1	1	0.96	55
2	0.78	0.81	0.69	41
3	0.90	1	0.80	52
4	0.92	1	0.91	62
5	0.82	0.89	0.86	44
6	0.42	0.43	0.21	21
7	0.87	0.74	0.83	37
8	0.26	0.18	0.12	17
9	0.84	0.80	0.62	48
10	0.39	0.19	0.26	24

注: $r = 0.891$, $P = 0.001$

疗师的主观临床经验,测量结果不够客观;其次,每次评估均需治疗师参与,不利于居家康复治疗;最后,评估只能在治疗前后进行,缺乏实时性。

为在一定程度上解决上述问题,国内外学者开始研究基于可穿戴传感器的脑卒中患者上肢运动功能评价系统,并已成为近年来康复医疗领域的一个研究热点^[17-18]。相关研究成果主要集中在构建基于标记点、Kinect 和惯性测量单元的运动功能康复评价系统。标记点,主要是让患者在肢体关键部位穿戴特殊反光的光学标记点,并通过红外相机记录运动过程中患肢的运动姿态信息^[19-20]; Kinect,主要是通过红外深度摄像头实时捕捉运动过程中肢体的运动姿态,本质是一种无标记点的动作捕捉系统^[21-22];惯性测量单元,是一种融合三轴加速度、三轴陀螺和三轴地磁的运动姿态检测系统,可以实时检测运动过程中患者肢体的运动姿态^[23-24]。在上述三类运动功能评价系统中,基于光学标记点的评估系统价格昂贵;基于 Kinect 的运动功能康复评估系统价格虽便宜,但姿态检测精度不够;惯性测量单元除需要进行标定外^[25],充分结合了两类系统的优点。

上述三类运动功能评估系统虽能在一定程度上解决传统临床评估方法存在的不足,但脑卒中患者康复

过程不仅涉及关节活动范围训练,更重要的还有患肢肌力的训练,以使患者能在一定程度上恢复日常生活技能。因此,脑卒中患者运动功能康复评估不仅需要监测患肢关节活动范围(姿态),还需要监测患肢肌力恢复状态。现有基于可穿戴传感器的运动功能康复评价系统大多仅通过姿态检测来实现关节活动能力评估,仍具有一定的局限^[26]。

本文在康复评估过程中除检测患肢运动姿态外,进一步融入了康复过程中患肢的表面肌电数据,并以患者健侧为参考,通过构建健侧运动功能隐马尔科夫模型,较好地实现了脑卒中患者的上肢运动功能评估。该系统以患者健侧运动功能模型为参考,通过采集康复评估过程中患者的运动姿态与表面肌电数据,并进一步提取姿态与肌电相关特征,来计算患侧相对健侧运动功能的归一化对数最大似然概率数值,该数值反映的是患侧相对健侧运动功能的百分比。初步的实验结果表明,所设计的基于运动姿态与肌电的上肢运动功能评估系统,在脑卒中患者上肢运动功能评估方面具有一定的可行性,且对康复评估动作具有较好的信度;此外,姿态与肌电融合后的评估系统较单纯运动姿态或肌电评估系统,具有更好的效度与信度。

本文开发的基于运动姿态与肌电融合的脑卒中患者上肢运动功能评估软件,除具有较好的效度与信度外,还具有良好的实时性,患者可在没有治疗师参与情况下,随时通过康复评估动作获取到运动功能评价。该软件系统目前已经在南京同仁医院康复医学科开始使用,系统参考 FMA-UE,已经设计 15 类康复评估动作,本研究仅给出其中三个动作。该系统仍存在以下不足:测试患者数量需要进一步增加,以提高健侧运动功能评估模型的准确度;康复评估动作数量需要进一步增加;姿态与肌电特征提取需要进一步优化,以提高所遴选特征与运动功能之间的相关性。随着临床康复评估数据的进一步汇聚,此系统将在一定程度上助力于治疗师临床方案的确定,并有助于患者的居家康复。

表 4 运动姿态、肌电及运动姿态与肌电融合的系统评估信度

条件	动作一		动作二		动作三		均值
	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值	
运动姿态	0.894	0.244	0.851	0.002	0.813	0.038	0.852
肌电	0.796	0.027	0.758	0.056	0.763	0.078	0.772
运动姿态+肌电	0.881	0.003	0.902	0.037	0.873	0.053	0.885

[参考文献]

- [1] 朱国喜,董新春,贾澄杰,等. 下肢生物反馈训练对脑卒中患者运动及平衡功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(7): 793-797.
- [2] 何斌,张超,刘璇. 上肢机器人辅助疗法对急性期脑卒中患者上肢运动功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(6): 688-692.
- [3] 柏敏,田然,杨倩,等. 短期虚拟现实康复训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能及日常生活活动能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(11): 1288-1291.
- [4] 吴艳,杨建全. 运动动态评估结合镜像治疗对脑卒中患者运动功能及生活质量的影响[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(21): 5380-5381.
- [5] Naghdi S, Ansari N N, Mansouri K, et al. A neurophysiological and clinical study of Brunnstrom recovery stages in the upper limb following stroke [J]. Brain Inj, 2010, 24(11): 1372-1378.
- [6] 桑德春,纪树荣,张纓,等. Fugl-Meyer量表在社区脑卒中康复疗效评定中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(3): 264-265.
- [7] 陆吕平,张国庆,顾伯林,等. 中西医结合治疗对缺血性脑卒中老年患者的BARTHEL指数评分、神经功能缺损评分及血液流变学的影响[J]. 中国老年学杂志, 2014, 34(1): 83-85.
- [8] Morris D M, Uswatte G, Crago J E, et al. The reliability of the wolf motor function test for assessing upper extremity function after stroke [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82(6): 750-755.
- [9] Tamburini P, Mazzoli D, Stagni R. Towards an objective assessment of motor function in sub-acute stroke patients: relationship between clinical rating scales and instrumental gait stability indexes [J]. Gait Posture, 2018, 59: 58-64.
- [10] Safaz I, Yilmaz B, Yasar E, et al. Brunnstrom recovery stage and motricity index for the evaluation of upper extremity in stroke: analysis for correlation and responsiveness [J]. Int J Rehabil Res, 2009, 32(3): 228-231.
- [11] 全国第四届脑血管病学术会议. 脑卒中患者临床神经功能缺损程度评分标准(1995)[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 381-383.
- [12] 杨波,付成龙. 惯性测量单元在老年人跌倒风险评估中的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(7): 780-784.
- [13] 廖志平,魏爽,李建华. 表面肌电图评估技术在脑卒中患者下肢肌肉领域的应用[J]. 中国康复, 2015, 30(5): 388-390.
- [14] Mannini A, Sabatini A M. Gait phase detection and discrimination between walking-jogging activities using hidden Markov models applied to foot motion data from a gyroscope [J]. Gait Posture, 2012, 36(4): 657-661.
- [15] 郑海鹰,刘颖,何春风,等. 脑卒中患者平衡功能康复评定方法与进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2014, 16(3): 209-211.
- [16] 王延莉,王爱平. 脑卒中病人自我护理能力问卷的研制及信效度检验[J]. 护理研究, 2016, 30(3): 297-301.
- [17] Patel S, Park H, Bonato P, et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation [J]. J Neuroeng Rehabil, 2012, 9(1): 21.
- [18] 张文豪,李建军,高峰,等. 可穿戴技术在康复医学领域中的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(7): 792-795.
- [19] Murphy M A, Willén C, Sunnerhagen K S. Kinematic variables quantifying upper-extremity performance after stroke during reaching and drinking from a glass [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2011, 25(1): 71-80.
- [20] 张云超,肖金壮,王洪瑞. 一种踝关节三维运动空间的量化算法[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(10): 1209-1215.
- [21] Bonnechere B, Jansen B, Salvia P, et al. Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: comparison with standard stereophotogrammetry [J]. Gait Posture, 2014, 39(1): 593-598.
- [22] 瞿畅,代艾波,郭爱松,等. 基于Kinect的上肢康复训练系统开发与应用[J]. 中国生物医学工程学报, 2015, 34(5): 607-612.
- [23] Zhang Z, Fang Q, Gu X. Objective assessment of upper-limb mobility for poststroke rehabilitation [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2016, 63(4): 859-868.
- [24] 张姤. 基于光学和惯性跟踪数据融合的上肢运动测量技术及应用研究[D]. 杭州:浙江大学, 2014.
- [25] 赵桂玲,姜雨含,李松. IMU标定数学建模及误差分析[J]. 传感技术学报, 2016, 29(6): 886-891.
- [26] Li H T, Huang J J, Pan C W, et al. Inertial sensing based assessment methods to quantify the effectiveness of post-stroke rehabilitation [J]. Sensors, 2015, 15(7): 16196-16209.

(收稿日期:2019-06-10 修回日期:2019-07-08)