

上肢机器人辅助康复治疗中变换作业面对复合运动训练的影响*

王子羲¹ 陈里宁¹ 姚重阳¹ 谢 群¹ 季林红¹

摘要 目的:分析上肢机器人辅助康复治疗在肩肘配合下引入斜面训练对于水平面训练的影响, 以及对于肩关节训练的影响, 解决现有的上肢偏瘫康复机器人在肩肘配合下对肩关节训练的不足。**方法:**12 例健康男性参加本研究。在上肢复合运动(UECM)康复机器人平台上, 分别将机器人倾斜 0°、15°、30°、50° 和 -10°, 用视频捕捉系统和肌电采集系统采集上肢运动信号和表面肌电信号。**结果:**平面变换为正角度时三角肌前部和中部肌力加强, 变换为负角度时肱二头肌肌力获得加强。此外, 肩关节和肘关节的活动度有一定程度的改善。**结论:**在肩肘配合训练模式下, 调整平面为斜面时肩关节的训练获得加强, 利用一定的适当斜面变换可以对不同肌群进行有针对性增强的重点训练。

关键词 机器人辅助训练; 康复; 斜面训练; 表面肌电图

中图分类号:R496 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2009)-01-0065-03

The influence of transforming operation plane on compound movement training in upper limb robot aided rehabilitation/WANG Zixi, CHEN Lining, YAO Chongyang, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2009, 24(1):65-67

Abstract Objective: To investigate the influence of tilted plane maximal range training on the original horizontal plane training in upper limb robot aided rehabilitation in shoulder and elbow coordination training mode, and the influence of more intensive training on shoulder joint, and to solve the shortage of less training on shoulder joint in upper limb robot rehabilitation. **Method:** Twelve normal male people were recruited in the research. The training of tilting the robot plane by 0°, 15°, 30°, 50°, -10° based on maximal range training were performed in active shoulder and elbow coordination training mode on upper extremity compound movement (UECM) robot rehabilitation platform. Kinematic data and surface electromyography (sEMG) signals on upper extremity were recorded and analyzed through motion analysis video capture system and Noraxon sEMG recording system. **Result:** The front and middle parts of deltoid were strengthened when the tilted angle was positive, while biceps brachii was strengthened in negative angle. The ranges of motion in shoulder joint and elbow joint were enlarged. **Conclusion:** Titled plane training could strengthen the shoulder joint with training in upper limb robot aided rehabilitation in shoulder and elbow coordination training mode. Appropriate certain tilted plane could strengthen certain muscle group.

Author's address Intelligent and Biological Machinery Studio of the State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing, 100084

Key words robot aided training; rehabilitation; tilted plane training; surface electromyography

偏瘫康复的目标之一是运动功能的恢复, 即如何将基本的运动功能转换为协调的、速度随意变化的、最省力的目的性运动, 这是恢复患者具有实用价值运动的关键^[1], 这其中复合运动训练尤为重要。所谓复合运动训练, 即指多关节协调性训练。在现代多种康复治疗技术中(如 Brunnstorm 法、神经肌肉本体感觉促进法等)患者能否完成患肢的复合运动, 已经成为评价康复水平的重要标准^[2]。此外, 上肢多关节肌对实现上肢的各种动作, 尤其是在实现上肢的大幅度运动及各种确定的组合动作中起重要作用^[3]。加强上肢多关节肌的力量和肌间协作能力的训练, 可以提高上肢各关节的稳固性和上肢各组合动作的质量。

机器人辅助患者上肢进行大范围协调训练是目

前康复领域研究的一个重点, 康复机器人由于其客观性、无疲劳性、训练强度可靠已经取得了较大的进步^[4-5]。MIT-MANUS^[6], Leeds 大学 iPAM 系统^[7]等末端式康复机器人是用机器手臂模仿康复医师对偏瘫患者的训练动作, 并且都已经在临床上取得初步结果。更多的研究是根据人体关节的自由度设计的外骨骼式佩戴机器人, 例如 ARMin^[8], RUPERT^[9], T-WREX^[10]等。

清华大学的上肢复合运动康复机器人(upper extremity compound movement, UECM), 是采用极限

* 基金项目: 清华大学摩擦学国家重点实验室自主研究项目

1 清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室, 北京, 100084

作者简介: 王子羲, 男, 讲师, 博士

收稿日期: 2008-06-02

运动方式设计的末端式复合运动康复机器人,配合不同辅助力、阻尼力和约束力能对不同阶段的偏瘫患者采取相对灵活的训练方式。22例患者(用传统康复方法无法取得更大康复效果)在中国康复研究中心的临床实验表明,在使用UECM机器人训练后,偏瘫患者在上肢综合运动功能(Fugl-Meyer评分)、关节活动度,以及痉挛程度(MAS评分)有更进一步的改善^[1]。

在复合训练中,肩关节由于其自身运动复杂(3个旋转自由度)和胸锁关节(2个自由度)功能上有重迭(产生联代运动),此外,肩关节支撑起整个上肢,如何在肩肘配合训练中让肩关节完成大范围的运动训练并且有针对性地对部分肌群进行重点训练是机器人辅助康复训练的一个难点。UECM以及MIT-MANUS机器人由于其水平面的复合运动设计,无法满足在协同训练下对肩关节3个自由度的训练要求。iPAM系统由于本身运动范围的限制以及对无运动能力患者的无效性,也无法满足对肩关节大范围训练的要求。外骨骼式机器人对肩关节各个自由度都做了相应的辅助自由度,虽然在关节训练上有一定优势,但是由于无法满足偏瘫不同阶段对多关节复合运动提出的要求,在偏瘫后期的治疗上效果有限。

本文从现有机器人平台出发,将UECM机器人改用斜面的方式,验证斜面极限范围运动训练的方式在肩肘协同训练下对肩关节训练的影响。

1 对象与方法

1.1 实验对象

正常男性12名,年龄 25.17 ± 2.08 岁,身高 172.17 ± 4.34 cm,体重 66.25 ± 5.15 kg。

1.2 实验方法

将UECM(图1)倾斜至 0° , 15° , 30° , 50° 和 -10° 。固定测试者手臂与机器人末端,采用肩肘关节主动运动模式。实验方法为实验者根据自身臂展确定轨迹(圆和直线),该轨迹显示在显示器上,然后根据预设的轨迹曲线主动在斜面上极大范围画圆和直线,由伺服电机的编码器返回机器人关节运动的角度值,并通过显示器反馈回手臂末端的当前位置。实验者尽可能按照预设的轨迹运动(图2)。

Motion Analysis视频捕捉系统采集实验者上肢的运动学数据(50Hz),Noraxon肌电采集系统采集上肢主要肌肉的肌电信号(1500Hz),主要采集肌肉包括肩关节相关的三角肌前部,三角肌中部,以及三角肌后部,肘关节相关的肱二头肌,肱三头肌以及肱

负角度 人的位置
 β 0°
 α 正角度

h

图1 UECM康复机器人 图2 训练平面角度定义

桡肌。两套采集系统通过脉冲信号实现同步。

1.3 评价方法

由视频捕捉系统采集上肢各骨骼运动数据, SIMM软件分析关节角度的变换。将采集的肌电信号去除直流分量,全波整流以及低通滤波(Butterworth 5阶滤波器,介质频率5Hz),最后将各组数据归一化,比较在不同动作中同一肌肉的参与程度以及不同肌肉在同一动作中的参与程度(归一化肌电信号强弱)。

肌电数据的归一化处理:

$$a(n) = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^N |m'(n)_{ij}|}{5N}$$

平均肌电幅值:截取至少5个周期,每个周期有N个点,N在每个周期内不确定。

单一肌肉不同动作的归一化:

$$a'(n)_m = \frac{a(n)_m \times N}{\sum_{m=1}^N a(n)_m}$$

N为实验中完成的N组动作,每个人总共完成15组动作。 $a(n)_m$ 代表肌肉m的平均肌电幅值。

单一动作不同肌肉的归一化:

$$a'(n)_m = \frac{a(n)_m \times 6}{\sum_{n=1}^6 a(n)_m}$$

实验中采用的6块肌肉。

2 结果与讨论

0° 平面运动时,三角肌前中后以及肱二,肱三头肌相互配合使用(肱桡肌辅助),各块肌肉主要都是在标准值1左右协调配合。当角度变成正角度之后,由于手臂自重影响,屈臂时三角肌后部和肱二头肌的作用弱化,而三角肌前部以及三角肌中部的作用强化(部分实验者是三角肌前部,与人体做动作的习惯有关,整体上是三角肌前部和中部获得加强)。在伸臂时,肩关节负责整个手臂的平衡和支持,作用显然大于肘关节,因此三角肌前部和三角肌中部的作用获得加强。肱三头肌的作用不如三角肌前部和三

角肌中部。当角度变为 -10° 时, 肱二头肌获得加强, 从原来的 0.6 加强到 1.2, 三角肌变化不明显, 提供支撑辅助, 肱三头肌的作用得到弱化。

因此, 大范围的正角度训练可以强化三角肌前部与三角肌中部。小角度的负角度训练是平面训练的补充, 由于训练条件的限制, 负角度的范围不大, 因此, 小角度的负角度训练主要提供二头肌的训练, 使二头肌的训练或者加强, 肱桡肌是辅助屈臂, 起补充作用。如图 3(12 人平均数据)所示三角肌前和中在正角度训练是逐步加强, 负角度是弱化。肱二头肌在平面到正角度基本变化不明显或略微的弱化, 在负角度时处于加强状态。

此外, 在肩肘关节各相关肌群训练加强的同时,

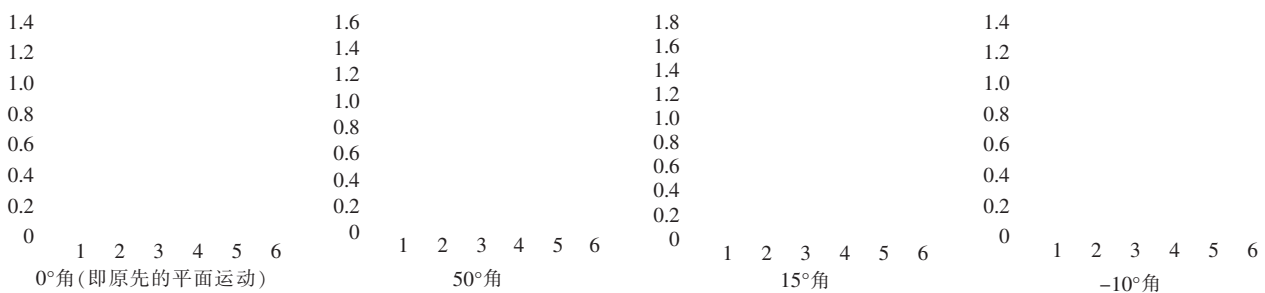


图 3 做某一动作时(图中为其中一个实验者逆时针画圆), 各块肌肉的贡献值(肌电信号归一化之后的数据), 分别是 0° 平面、 15° 平面、 50° 平面、 -10° 平面(负号表示反方向)画圆数据归一化之后的柱状图, 从左到右分别是三角肌前部、三角肌中部、三角肌后部、肱二头肌、肱三头肌、肱桡肌

表 1 肩关节和肘关节在斜面训练中的关节活动度

	0°平面内		15°平面内		30°平面内		50°平面内		-10°平面内	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
肩关节收展	64°	41°	65°	21°	73°	20°	78°	14°	61°	53°
肩关节屈伸	68°	5°	78°	-8°	71°	-18°	72°	-13°	69°	11°
肩关节旋内旋外	19°	16°	19°	5°	19°	11°	18°	4°	19°	18°
肘关节收展	113°	31°	118°	36°	114°	34°	104°	41°	98°	28°

3 结论

本文从现有的水平面训练康复机器人出发, 针对肩肘协调配合下肩关节训练不足的问题, 采用变换斜面的方式, 对 12 例正常男性主动训练模式下运动信息, 以及肌电信号进行采集, 通过分析, 得到以下结论: 调整平面后肩关节的训练获得加强; 不同的斜面变换实现对不同肌群的重点训练, 具体表现在大范围的正角度训练可以强化三角肌前部与三角肌中部。小角度的负角度训练是平面训练的补充, 可以强化肱二头肌。实验表明, 有针对性地调节斜面可以有针对性地对受损的肌肉与关节进行训练。

参考文献

- [1] 于兑生. 偏瘫康复治疗技术图解[M]. 北京: 华夏出版社, 2005. 1—310.
- [2] 朱镛连. 神经康复学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2001. 1—335.
- [3] 胡宇川. 偏瘫康复上肢复合运动康复机器人的研制(硕士论文). 2004: 1—101.
- [4] Reinkensmeyer DJ, Hogan N, Krebs HI, et al. Rehabilitators, robot, and guides: new tools for neurological rehabilitation. In:

- Winter J M and Crago P E, eds. Biomechanics and neural control movement [M]. New York: Springer-Verlag, 2000. 516—533.
- [5] Reinkensmeyer DJ, Rehabilitations. In: Kutz M, eds. Standard handbook of biomedical engineer & design[M]. Milan: McGraw-Hill, 2003: 1—17.
- [6] Krebs HI, Hogan N, Aisen ML, et al. Robot-aided neurorehabilitation [J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 1998, 6(1): 75—87.
- [7] Jackson A, Culmer P, Makower S, et al. Initial patient testing of iPAM—a robotic system for stroke rehabilitation [C]. ICORR 2007 10th International Conference on, 2007, 251—256.
- [8] Tobias Nef, Matjaz Mihelj, Gabriela Kiefer, et al. ARMin—exoskeleton for arm therapy in stroke patients[C]. ICORR 2007 10th International Conference on, 2007, 68—74.
- [9] Sugar TG, He JP, Koenenman EJ, et al. Design and Control of REPURT: A device for robotic upper extremity repetitive therapy [J]. IEEE transaction on neural systems and rehabilitation engineering, 2007, 15(3): 336—346.
- [10] Saraf J, Housman, Vu Le, Tariq Rahman, et al. Arm-training with T-WREX after chronic stroke: preliminary results of a randomized controlled trial[C]. ICORR 2007 10th International Conference on, 2007, 562—568.
- [11] Yubo Z, Zixi W, Lihong J, et al. The clinical application of the upper extremity compound movements rehabilitation training robot [C]. ICORR 2007 9th International Conference on, 2007, 91—94.