

· 临床研究 ·

康复机器人辅助步行训练对全膝关节置换术后患者功能恢复的影响

李建华 吴涛 边仁秀 顾旭东

【摘要】目的 观察康复机器人辅助步行训练对全膝关节置换术后患者功能恢复的影响。**方法** 共选取全膝关节置换术后患者 40 例,采用随机数字表法将其分为治疗组及对照组。2 组患者均给予常规康复干预,治疗组在此基础上给予康复机器人辅助步行训练,2 组患者康复治疗周期均为 2 周。于术前、术后 2 周、1 个月、3 个月及 12 个月时分别采用美国特种外科医院膝关节评分(HSS)、膝关节本体感觉评分、Berg 平衡量表及 6 min 步行距离测试对 2 组患者进行疗效评定。**结果** 术后各时间点发现治疗组 HSS 评分、Berg 平衡量表评分、6 min 步行距离等均显著优于对照组水平($P < 0.05$),但膝关节本体感觉改善方面 2 组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 在常规康复干预基础上联用机器人辅助步行训练,能进一步提高膝关节置换术后患者膝关节功能、平衡能力及步行功能,该疗法值得临床推广、应用。

【关键词】 全膝置换; 康复机器人; 功能

The effects of robot-assisted walking training system after total knee replacement patients LI Jian-hua*, WU Tao, BIAN Ren-xiu, GU Xu-dong. * Department of Rehabilitation, Sir Run Run Shaw Hospital, College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310016, China

【Abstract】 Objective To investigate the effects of robot-assisted walking training after total knee replacement (TKR). **Methods** Forty TKR patients at 1 week post-operation were randomized into a control group ($n = 20$) and a treated group ($n = 20$). For 2 weeks the control group accepted routine rehabilitation therapy. The treated group received the same treatment as the control group, but also walking training using a robot-assisted walking training system. The results were evaluated using the Hospital for Special Surgery knee rating scale (HSS), knee proprioception grading, Berg scores, and 6 minute walking distance in both groups. All the analyses were administered before the operation and 2 weeks, 1 month, 3 months and 12 months after the operation. **Results** The treated group had significantly better HSS scores, Berg scores, and 6 minute walking distances than the control group on average. However, there was no significant difference in average knee proprioception between the two groups. **Conclusion** Robot-assisted walking training was significantly more effective than conventional rehabilitation alone in improving knee joint function, balance ability and walking after TKR.

【Key words】 Total knee replacement; Robots; Walking

随着我国人口不断老龄化,膝关节骨关节炎(osteoarthritis, OA)的发病率呈逐年上升趋势。相关抽样调查显示 65 岁以上人群中膝关节 OA 的发病率高达 60% 以上^[1]。许多膝部疼痛并伴有明显功能缺失的 OA 患者最后都不得不通过全膝关节置换术(total knee replacement, TKR)来缓解日益严重的步行功能障碍。随着人工关节置换术在临床中的广泛应用,OA 患者术后康复干预也日益受到重视^[2]。有大量国内、外文献指出膝 OA 患者存在本体感觉功能下降,能间接影响患者术后步态。故临床在强化术后膝关节周围肌群肌力的同时,还应针对患肢本体感

觉功能进行特定训练^[3]。近年来康复机器人训练是康复医学界研究的热点之一,本研究采用多体位下肢康复机器人对早期 TKR 术后患者进行强化步行训练,并观察训练前、后患者下肢功能恢复情况,发现临床疗效显著。

对象与方法

一、研究对象

共选取 2008 年 12 月至 2010 年 5 月期间在我院骨科行 TKR 手术的膝 OA 患者 40 例,患者排除标准包括:①有精神病史、痴呆、智力障碍或既往有脑器质性疾病;②有严重心血管疾病且不易耐受康复训练者;③有血液疾病或消化性溃疡等。采用随机数字表法将入选患者分为治疗组及对照组。2 组患者性别、年龄、发病侧别等经统计学比较,发现组间差

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.011.002

基金项目:浙江省卫生厅课题(YH200805)

作者单位:310016 杭州,浙江大学医学院附属邵逸夫医院康复医学科(李建华、吴涛、边仁秀);嘉兴二院康复医学中心(顾旭东)

异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,具体数据见表 1。

表 1 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别		年龄(岁)	发病侧别(例)	
		男	女		左侧	右侧
对照组	20	12	8	66.4 ± 10.3	8	12
治疗组	20	11	9	64.2 ± 10.2	11	9

二、治疗方法

本研究入选膝 OA 患者均给予 TKR 手术治疗,所有患者于术后 1 周内介入康复干预。对照组康复干预包括:①膝关节持续被动训练(continuous passive motion, CPM),初始阶段膝关节被动活动范围以患者能耐受为度,以后逐渐扩大至全关节范围,每天训练 1 h;②膝周肌群(包括股内侧肌、股外侧肌、股直肌等)神经肌肉电刺激,选用丹麦产 TS-6000 型电刺激仪,双向对称脉冲波,频率 30 ~ 40 Hz,波宽 200 ~ 250 μ s,通断比 1:3,每天治疗 30 min,每天治疗 2 次;③下肢肌肉力量训练,主要包括股四头肌、腓绳肌等长收缩训练及踝泵训练等。上述训练每次持续 30 min,每天训练 2 次。整个康复治疗持续 2 周。

治疗组在上述干预基础上采用机器人进行超早期步态固化训练,选用 FLEXBOT 型多体位智能康复训练机器人(图 1),该机器人在辅助患者步行训练过程中,可模拟正常步行时下肢髋、膝、踝关节的周期性运动,患侧髋、膝、踝关节的活动角度参照健侧关节设定,以确保左、右侧下肢步态参数一致,从而达到固化步态目的。在训练过程中,机器人倾斜床角度由 0°位逐渐过渡到 90°以实现功能性负重,要求训练 2 周后机器人倾斜床角度必须达到 90°,每次训练结束后给予患膝冷敷 15 ~ 20 min。步行训练速度以患者感觉舒适为宜,每天训练 2 次,每次持续 30 min,每周训练 5 d,连续训练 2 周为 1 个疗程。



图 1 FLEXBOT 型多体位智能康复训练机器人示意图

三、临床疗效评价标准

于术前、术后 2 周、1 个月、3 个月及 12 个月时进行疗效评定,疗效评定指标包括以下方面。

1. 美国特种外科医院膝关节评分(hospital for special surgery knee score, HSS):该评分涉及疼痛(30 分)、关节功能(22 分)、活动范围(18 分)、肌力(10 分)、屈曲畸形(10 分)、关节稳定性(10 分)等方面,分值越高表示患者膝关节功能越好。

2. 膝关节本体感觉评定:嘱患者闭眼,将患者患侧膝关节移至某一固定位置,让患者描述该位置或用另一侧肢体模仿,如描述或肢体模仿完全正确计 2 分,部分正确计 1 分,不正确计 0 分。

3. Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS):该量表共选取 14 个动作对患者平衡功能进行检测,每个动作又根据患者完成质量分为 0 ~ 4 分(共 5 个级别)予以计分,最高分为 56 分,最低分为 0 分,评分越低表示患者平衡功能障碍程度越严重。

4. 6 min 步行距离(six-minutes walk distance, 6 MWD)测试:要求患者在平直走廊上尽可能快步行走,测量 6 min 内的步行距离。

四、统计学分析

本研究所得数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 14.0 版统计学软件包进行分析,组间计量资料比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、手术前、后 2 组患者 HSS 评分比较

手术前及术后 2 周时,2 组患者 HSS 评分组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);术后 1 个月、3 个月及 12 个月时 2 组患者 HSS 评分组间差异均具有统计学意义($P < 0.05$),具体数据见表 2。

表 2 手术前、后 2 组患者 HSS 评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	手术前	术后 2 周	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 12 个月
对照组	20	49.9 ± 4.7	54.5 ± 5.6	72.9 ± 6.9	76.1 ± 4.3	77.1 ± 5.3
治疗组	20	50.2 ± 4.6	55.0 ± 5.8	77.9 ± 8.7 ^a	81.9 ± 5.0 ^a	85.7 ± 5.4 ^a

注:与对照组相同时间点比较,^a $P < 0.05$

二、手术前、后 2 组患者 BBS 评分比较

手术前,2 组患者 BBS 评分组间差异无统计学意义($P > 0.05$);术后不同时间点发现治疗组 BBS 评分均显著优于对照组水平($P < 0.05$),具体数据见表 3。

表 3 手术前、后 2 组患者 BBS 评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术前	术后 2 周	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 12 个月
对照组	20	41.3 ± 3.3	44.2 ± 3.6	47.8 ± 1.8	49.1 ± 2.7	49.9 ± 2.4
治疗组	20	41.7 ± 3.8	48.1 ± 3.9 ^a	50.2 ± 2.8 ^a	52.9 ± 2.5 ^a	54.5 ± 1.7 ^a

注:与对照组相同时间点比较,^a $P < 0.05$

三、手术前、后 2 组患者 6 MWD 结果比较

手术前 2 组患者 6 MWD 结果组间差异无统计学意义($P > 0.05$);术后不同时间点发现治疗组 6 MWD

结果均显著优于对照组水平 ($P < 0.05$), 具体数据见表 4。

表 4 手术前、后 2 组患者 6 MWD 结果比较 ($m, \bar{x} \pm s$)

组别	例数	术前	术后 2 周	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 12 个月
对照组	20	359.7 ± 30.4	496.1 ± 35.1	541.6 ± 31.1	570.9 ± 41.5	608.5 ± 34.8
治疗组	20	370.2 ± 38.2	515.4 ± 43.0 ^a	589.9 ± 44.5 ^a	644.7 ± 40.8 ^a	681.9 ± 37.7 ^a

注:与对照组相同时间点比较, ^a $P < 0.05$

四、手术前、后 2 组患者膝关节本体感觉评分比较

手术前、后 2 组患者膝关节本体感觉评分结果详见表 5, 表中数据经统计学比较, 发现手术前、后各时间点 2 组患者膝关节本体感觉评分组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 5 手术前、后 2 组患者膝关节本体感觉评分比较 (分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术前	术后 2 周	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 12 个月
对照组	20	1.75 ± 0.44	1.80 ± 0.41	1.90 ± 0.31	2	2
治疗组	20	1.53 ± 0.51	2	2	2	2

讨 论

目前临床针对 TKR 术后患者的康复训练多注重疼痛缓解、关节活动度及肌力改善, 对患者关节本体觉、行走功能及步态的重视程度不够, 而步行功能对于膝关节 OA 患者日常生活活动具有重要意义, 故如何提高 TKR 患者术后步行功能已逐渐引起临床医师高度重视。

通常膝关节 OA 患者手术前的基本步态特征是“逃避疼痛步态”^[3], 其步速、步长、患肢单支撑相、步频等指标均降低, 步行过程中受累关节活动度减小, 而其它非受累关节活动度则增大^[4-5]; 另外膝关节 OA 患者由于关节损伤, 其深感觉障碍在 TKR 手术前就已经存在^[6-9], 而 TKR 手术并不会使已经受损的本体感觉功能恢复, 常规康复干预对患者下肢整体功能的改善作用亦有限, 故患者膝周肌力不平衡现象及本体感觉障碍依然存在, 对患者术后膝关节功能恢复造成严重影响^[10-12]。

目前临床针对 TKR 患者早期康复干预多以 CPM 训练为主, 但如果过多依赖 CPM 训练, 则容易造成患者肢体缺乏活动的主动性, 从而导致下肢肌力进一步下降^[13-14]; 而且 CPM 训练主要在卧位下进行, 与患者直立行走时所需要的下肢肌力强度还存在一定差距, 同时也未针对直立行走时所需的本体感觉反馈进行强化训练, 最终导致康复疗效欠佳。

采用机器人辅助康复训练是近年来国内、外研究的热点^[15-17]。下肢功能障碍患者在机器人辅助下进行步行训练, 能模拟正常步行周期中的关节运动, 强化外周深、浅感觉刺激输入, 有利于重建正常的步行控制过程^[17-18], 加速患者步行功能恢复。该技术目前已广泛应用于脊髓损伤^[19-20]和脑卒中患者^[21]的康复治疗。现有研究表明, 下肢机器人辅助步行训练既能减轻治疗师劳动强度, 又可保证训练过程中的一致性 & 持续性, 还可以实现训练方案及康复评估定量化, 使康复训练变得科学、高效。本研究所用多体位智能康复机器人在机械结构部分采用创新理念, 将下肢外骨骼机械臂被动运动与减重训练相结合, 同时又巧妙借鉴了倾斜床设计, 有助于患者由卧位训练逐渐过渡到站立位训练, 促其尽快恢复下肢负重功能。本研究治疗组患者在常规康复干预基础上辅以康复机器人步行训练, 发现该组患者 HSS、BBS 评分及 6 MWD 结果均显著优于对照组 ($P < 0.05$), 提示在常规康复干预基础上辅以机器人步行训练, 能进一步提高膝 OA 患者术后膝关节功能及稳定性, 促进下肢功能改善。另外本研究发现治疗组患者膝关节本体感觉评分较对照组有改善趋势, 但术后各观察时间点 2 组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 提示康复机器人辅助步行训练可在一定程度上改善 TKR 患者下肢膝关节本体觉功能, 但可能由于 OA 患者病程较长, 在发病期间其关节运动觉、位置觉、脊髓反射通路等均受到不同程度损伤, 致使其恢复可能需要较长时间。故建议患者出院后继续加强本体感觉功能训练, 以进一步巩固康复疗效。

综上所述, 本研究结果表明, 在常规康复干预基础上辅以机器人步行训练, 能进一步改善 TKR 术后患者步态, 促其膝关节功能恢复。另外值得注意的是, 本研究结果还存在一定局限性, 如随访时间偏短, 在评估膝关节本体感觉方面使用的量表效度不高, 在机器人辅助步行训练过程中, 不同减重幅度是否能影响康复疗效还不得而知, 因此进行更长时间的随访、使用敏感度更高的本体感觉量表、选用不同的减重参数来探讨机器人辅助步行训练对 TKR 术后患者膝关节功能的影响将是后续研究的重点。

参 考 文 献

- [1] 王卓, 王连唐. 骨关节炎病理改变及其研究进展. 国外医学内科学分册, 2005, 32: 312-314.
- [2] Peurala SH, Airaksinen O, Huuskonen P. Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke. J Rehabil Med, 2009, 41: 166-173.
- [3] Mayr A, Kofler M, Quirbach E, et al. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. Neurorehabil Neural Repair, 2007, 21: 307-314.

- [4] Al-Zahrani KS, Bakheit AM. A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. *Disabil Rehabil*, 2002, 24:275-280.
- [5] 来娟,蔡雍咏,吴月凤,等. 人工全膝关节置换术后康复训练的研究进展. *中华现代临床护理学杂志*, 2011, 6:257-259.
- [6] 谢玉华. 持续被动活动机在膝关节手术后康复中的应用. *江苏医药*, 2007, 33:971.
- [7] Viton JM, Atlani L, Mesure S. Reorganization of equilibrium and movement control strategies after total knee arthroplasty. *J Rehabil Med*, 2002, 34:12-19.
- [8] Dietz V, Gollhofer A, Kleiber M, et al. Regulation of bipedal stance: dependency on "load" receptors. *Exp Brain Res*, 1992, 89:229-231.
- [9] 寿依群, 李建华, 陈文君, 等. 全膝关节置换术后早期康复对膝关节功能和日常生活活动能力的影响. *中国运动医学杂志*, 2005, 24:329-331.
- [10] Mouchnino L, Gueguen N, Blanchard C, et al. Sensori-motor adaptation to knee osteoarthritis during stepping-down before and after total knee replacement. *BMC Musculoskelet Disord*, 2005, 6:21.
- [11] MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, et al. Proprioception in anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. *Am J Sports Med*, 1996, 24:774-778.
- [12] MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, et al. Proprioception in anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. *Am J Sports Med*, 1996, 24:774-778.
- [13] Gök H, Ergin S, Yavuzer G. Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. *Acta Orthop Scan*, 2002, 73:647-652.
- [14] Chen B, Zimmerman JR, Soulen L, et al. Continuous passive motion after total knee arthroplasty: a prospective study. *Am J Phys Med Rehabil*, 2000, 79:421-426.
- [15] Jerosch J, Prymka M. Knee joint proprioception in normal volunteers and patients with anterior cruciate ligaments tears, taking special account of the effect of a knee bandage. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1996, 115:162-166.
- [16] Johnson MJ. Recent trends in robot-assisted therapy environments to improve real-life functional performance after stroke. *J Neuroeng Rehabil*, 2006, 18:29.
- [17] Amirabdollahian F, Loureiro R, Gradwell E, et al. Multivariate analysis of the Fugl-Meyer outcome measures assessing the effectiveness of GENTLE/S robot-mediated stroke therapy. *J Neuroeng Rehabil*, 2007, 19:44.
- [18] Müller F, Heller S, Krewer C, et al. Effective gait training on the treadmill and the Lokomat: comparison of achievable training time and speed. *Neurol Rehabil*, 2004, 4:S27.
- [19] Aoyagi D, Ichinose WE, Harkema SJ, et al. A robot and control algorithm that can synchronously assist in naturalistic motion during body-weight-supported gait training following neurologic injury. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2007, 15:387-400.
- [20] Ferris DP, Sawicki GS, Domingo A. Powered lower limb orthoses for gait rehabilitation. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2005, 3:34-49.
- [21] Dietz V, Müller R, Colombo G. Locomotor activity in spinal man: significance of afferent input from joint and load receptors. *Brain*, 2002, 125:2626-2634.

(修回日期:2012-09-16)

(本文编辑:易浩)

《中华物理医学与康复杂志》第七届编辑委员会组成名单

顾问: 许云影(加拿大) 吴宗耀 连倚南(中国台湾) 陈安民 南登崑 谭维溢

名誉总编辑: 郭正成

总编辑: 黄晓琳

副总编辑: 吴毅 李玲 郭铁成 顾新 窦祖林 燕铁斌

编辑委员: (按姓氏笔画排序)

尤春景 尹平 毛容秋 王伟 王刚 王彤 王强 王宁华 王冰水 王茂斌
 王亭贵(中国台湾) 王颜和(中国台湾) 邓复旦(中国台湾) 冉春风 冯珍 卢成皆(澳大利亚)
 刘宏亮 华桂茹 孙福成 朱珊珊 汤晓芙 牟翔 纪树荣 许晓冬 闫金玉 何成奇
 何成松 励建安 吴华 吴毅 宋为群 张长杰 张光宇 张志强 张继荣 张盘德
 李玲 李兴志 李红玲 李建军 李建华 李胜利 李晓捷 李常威(中国香港)
 朱愈(美国) 杨渝珍 肖农 陆再英 陈启明(中国香港) 周士枋 周谋望 岳寿伟
 林伟 范建中 郑光新 恽晓平 洪章仁(中国台湾) 倪国新 倪朝民 徐军 徐永健
 敖丽娟 袁华 贾子善 郭钢花 郭铁成 顾新 顾旭东 高晓平 梁英 梅元武
 黄真 黄东锋 黄晓琳 谢青 谢荣 谢欲晓 窦祖林 廖维靖 燕铁斌
 Bryan O'Young(美国) Sheila Purves(加拿大)